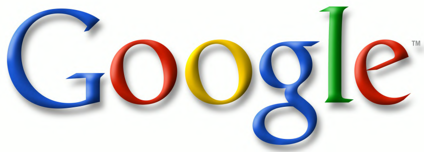
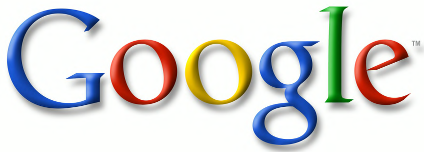
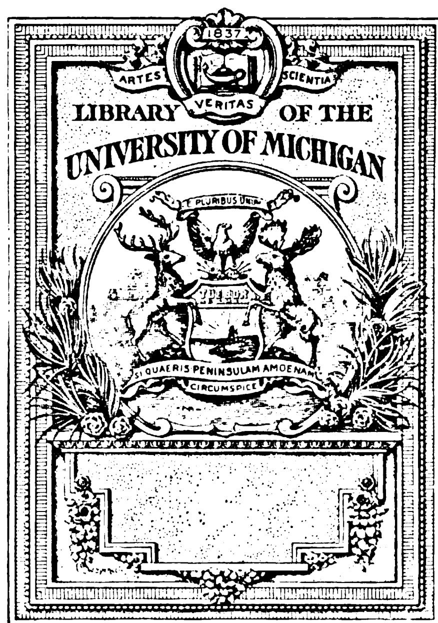
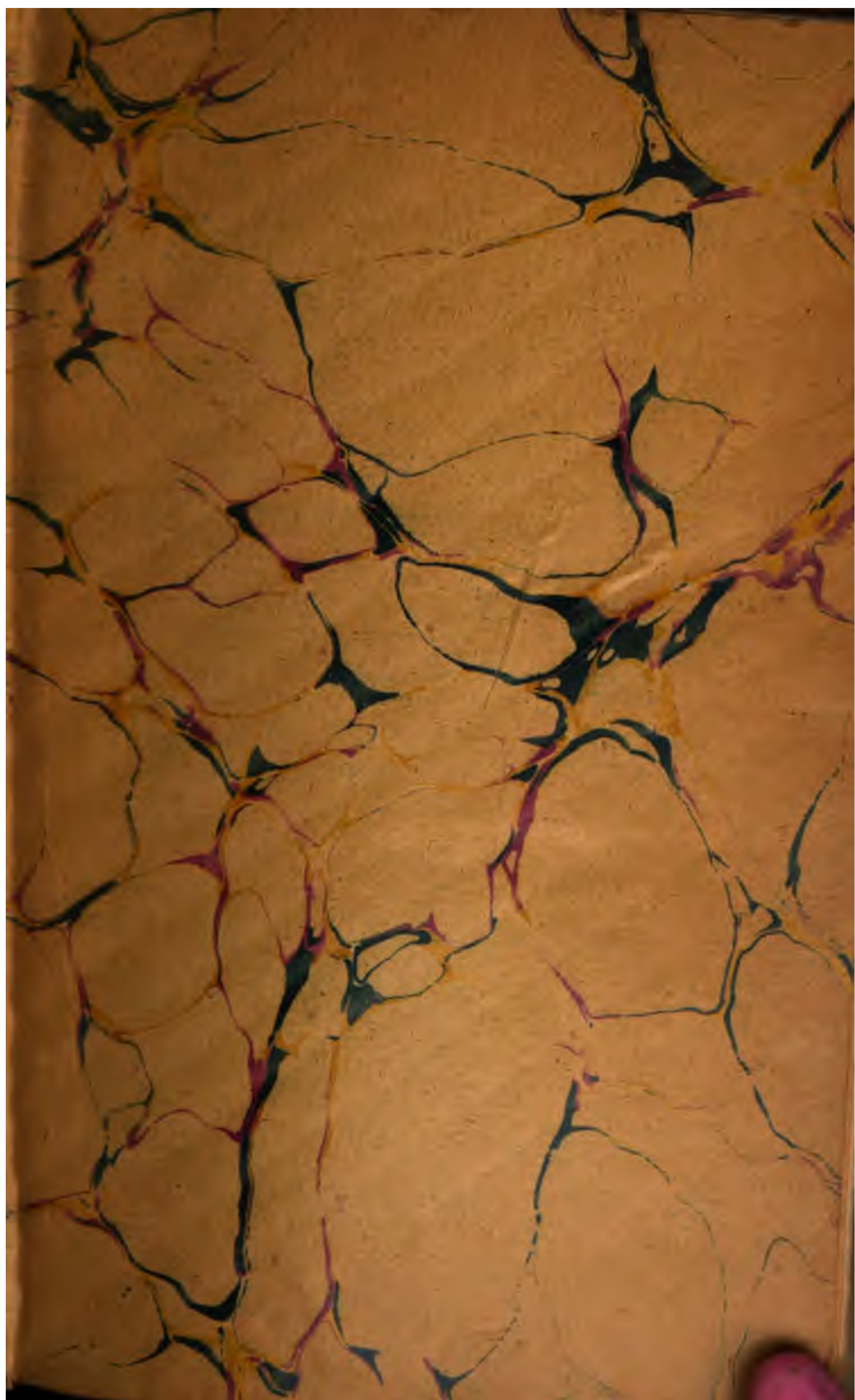





1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS.

PARIS. — IMP. P.-A. BOURDIER ET Cᵉ, RUE MAZARINE, 30.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS

M. CH. LABOULAYE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

TOME DEUXIÈME

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

15, QUAI MALAQUAIS, 15

AMSTERDAM. — Van Bakkenes.
BRUXELLES. — Lebègue et Cᵉ.
LONDRES. — Barthès et Lowell.
MADRID. — Poupart.
MOSCOU. — Gautier.
NAPLES. — Pellerano.
NEW-YORK. — Bossange et fils.
SAINT-PÉTERSBOURG. — J. Issakoff.
TURIN. — Bocca.
VARSOVIE. — Gebethner.

1862

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS.

OBSERVATIONS

SUR LES RAPPORTS QUI EXISTENT

ENTRE LE DÉVELOPPEMENT DE LA POITRINE,

LA CONFORMATION ET LES APTITUDES DES RACES BOVINES.

PAR M. ÉMILE BAUDEMENT.

I

OBJET DE CE MÉMOIRE. DONNÉES GÉNÉRALES DE L'OBSERVATION.

De tous les caractères qui révèlent, chez les animaux, l'aptitude à s'engraisser, à prendre un développement hâtif, à tirer bon parti des aliments, à gagner en poids, l'ampleur de la poitrine est celui qui est regardé comme ayant la signification la plus certaine. Sur ce point, les praticiens, les observateurs, les écrivains de tous les pays sont unanimes, à quelque titre qu'ils se soient occupés du bétail.

Les auteurs qui ont proposé une explication de ce caractère sont aussi généralement d'accord pour considérer le développement de la poitrine comme l'indice du volume et de l'activité des poumons ; ils rattachent ainsi la puissance d'assimilation, chez les animaux les plus remarquables comme utilisateurs de leur ration, à une énergie plus grande des fonctions respiratoires.

S'il est impossible de ne pas être disposé à admettre comme fondamentalement exacte une opinion ancienne et générale, que les faits de pratique quotidienne viennent, d'ailleurs, confirmer et enraciner, il est utile, cependant, de la soumettre au contrôle d'expériences propres à en préciser le sens et à en mesurer la portée.

Quant à l'interprétation qu'on a adoptée, il importe de voir sur quelles données elle repose, et jusqu'à quel point elle soutient l'épreuve de l'observation rigoureuse.

C'est cette double vérification, du fait et de son explication scientifique, que j'ai entreprise, en choisissant pour objet d'études l'espèce bovine, représentée par nos principales races agricoles. J'ai cherché d'abord si les grandes dimensions de la région thoracique coïncident réellement avec une assimilation plus grande, un poids acquis plus élevé, un rendement supérieur à la boucherie. J'ai cherché ensuite si le volume des poumons et la puissance respiratoire sont en rapport avec l'ampleur de la poitrine.

Les résultats fournis par l'examen de ces deux questions me conduisent à une explication qui me paraît rendre raison des différences de conformation et d'aptitudes chez les animaux des races bovines, en reliant entre eux les phénomènes physiologiques et anatomiques d'où les aptitudes et la conformation peuvent dépendre.

Mes observations ont porté sur 102 bœufs : — 52 appartenaient à nos races françaises Normande, Choletaise, Charolaise, Bourbonnaise, Garonnaise, Limousine, de Salers, d'Aubrac, Comtoise et Bretonne ; — 19 aux races anglaises ou écossaises de Durham, de Devon, de Hereford, d'Angus et des West-Highlands, quelques-uns venus d'Angleterre même et d'Écosse ; — 31 à des croisements Durham-Normand, Durham-Schwitz-Normand, Durham-Manceau, Durham-Charolais, Durham-Breton, Ayr-Breton et Ayr-Durham-Breton.

J'ai pris ces bœufs parmi ceux qui avaient été primés au Concours général de Poissy, et j'ai pu, de la sorte, établir ces recherches sur des animaux qui se trouvaient dans des conditions comparables. Pour ce Concours, en effet, les animaux sont nourris de manière à mettre le plus complétement en évidence

leurs qualités comme consommateurs; à pousser, jusqu'à ses plus extrêmes limites, leur faculté d'engraissement; et ils sont naturellement choisis parmi ceux qui réalisent le mieux le type considéré comme le plus parfait au point de vue de la boucherie. Ils se présentaient donc à un état analogue, tout à fait propre à l'objet de ces études, et que je n'aurais pu rencontrer chez des animaux préparés dans des buts différents, soumis à des régimes variés, arrivés à des degrés divers de condition. Il est vrai que chez des animaux d'élite conduits ainsi suivant les mêmes vues, les différences de l'ordre de celles qu'il s'agit d'apprécier sont moins accusées; mais elles ont une valeur plus significative et plus certaine

Pour chacun des 102 bœufs, j'ai constaté le poids vivant au moment de l'abatage, le rendement en parties débitables par le boucher, ce qu'on appelle le poids net ou poids des quatre quartiers, et le poids du suif, c'est-à-dire de la graisse qu'on détache des viscères abdominaux.

Le poids vif permet de juger de la puissance générale d'assimilation d'un animal, dans des conditions d'âge et de race déterminées, puisqu'il résulte de la somme des principes nutritifs que cet animal s'est appropriés. Le poids net et le poids du suif indiquent sous quelle forme ces principes nutritifs ont été plus particulièrement utilisés. Plus s'élève le poids net proportionnellement au poids vif, plus augmente aussi, en raison directe, le rendement en parties alimentaires, et plus s'abaisse, en raison inverse, la quantité des parties qui constituent les issues ou qui fournissent des matières premières à l'industrie. L'élévation du poids net a, par cela même, une signification physiologique fort importante relativement au fonctionnement de la machine animale : elle montre que le travail d'assimilation s'est établi dans une direction particulière, qu'il a porté sur l'appareil musculaire et ses dépendances, plutôt que sur les viscères, sur le système osseux, sur la peau et ses appendices. Au point de vue du consommateur, comme à celui du producteur, la valeur d'un animal de boucherie, à conditions égales d'ailleurs et tout particulièrement à qualité égale de viande, a donc pour expression le rapport de son poids net à son poids vif.

J'ai mesuré, pour chaque bœuf, la circonférence thoracique, la hauteur au garrot et la longueur du corps, de l'occiput à l'a-

TABLEAU A. — *Données générales de l'observation.* — *Catégorie des bœufs de races françaises.*

RACE.	Numéro d'ordre.	AGE.		Circonférence thoracique			Taille au garrot.	Longueur de la nuque à la queue.	POIDS		POIDS VIF.	POIDS NET.	RENDEMENT en poids net pour 100 de poids vif.	POIDS du suif.	RAPPORT DU POIDS des poumons à 100 de poids vif.
				droite.	oblique.	moyenne.			des poumons.	du cœur.					
		ans	mois	m.	m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.	k.		k	
Normands	1	3	8	2.53	2.74	2.635	1.45	2.40	4.456	4.391	1020	658	64.510	94	0.438
	2	5	3	2.87	3.07	2.97	1.68	2.70	5.848	4.838	1250	804.5	64.360	146	0.468
	3	6		2.68	2.81	2.745	1.54	2.41	5.143	4.591	1145	696	60.786	129	0.449
	4	6		2.72	2.84	2.78	1.54	2.45	5.334	4.927	1175	727	61.872	146	0.454
Choletais	5	2	2	2.30	2.33	2.315	1.30	2.07	3.501	2.055	605	402	66.446	60	0.579
	6	5		2.37	2.55	2.46	1.42	2.20	4.159	3.875	8[illegible]5	535	62.573	80	0.486
	7	5		2.40	2.55	2.475	1.46	2.38	4.554	4.297	850	510	60.000	120	0.536
	8	5		2.42	2.55	2.485	1.45	2.44	4.352	3.893	835	570	68.263	68	0.521
	9	5		2.43	2.62	2.525	1.49	2.20	5.052	4.312	860	549.5	63.895	98.5	0.587
	10	5		2.44	2.65	2.545	1.57	2.45	4.814	3.682	965	628.5	65.130	89.5	0.499
	11	5		2.58	2.75	2.665	1.50	2.40	4.585	4.433	990	639	64.545	105	0.463
Charolais	12	3		2.50	2.55	2.525	1.56	2.32	4.202	3.716	830	586	70.602	70	0.506
	13	3	2	2.43	2.60	2.515	1.43	2.20	4.008	4.196	870	599	68.851	82	0.461
	14	3	6	2.40	2.60	2.50	1.45	2.25	4.385	4.120	870	580	66.667	75	0.504
	15	3	8	2.40	2.52	2.46	1.38	2.12	3.025	2.989	800	513.5	64.188	83.5	0.378
	16	3	10	2.38	2.58	2.48	1.44	2.20	4.856	3.717	840	554	65.952	77	0.578
	17	3	10	2.70	2.80	2.75	1.66	2.43	4.697	4.582	1020	663	65.000	112	0.460
	18	4	2	2.50	2.64	2.57	1.45	2.25	4.758	3.769	905	605	66.851	84	0.526
	19	4	4	2.62	2.73	2.675	1.48	2.30	3.979	4.000	955	641	67.120	88	0.417
	20	5		2.58	2.65	2.615	1.44	2.10	2.200	2.609	890	630	70.787	83	0.247
	21	5		2.65	2.75	2.70	1.54	2.50	4.507	4.372	985	640	64.974	101.5	0.458
	22	5	7	2.53	2.73	2.63	1.58	2.50	4.200	3.985	970	645	66.495	105	0.433
	23	5 à 6		2.74	2.84	2.79	1.55	2.60	4.680	4.571	1010	670	66.337	97	0.463
	24	6		2.45	2.57	2.51	1.47	2.20	4.856	3.837	880	562	63.864	99.5	0.552
	25	6		2.61	2.80	2.705	1.57	2.22	4.358	4.210	970	640	65.979	84	0.419
	26	6		2.72	2.83	2.775	1.52	2.36	3.981	3.961	980	661	67.449	101	0.406
	27	6	6	2.45	2.67	2.56	1.51	2.40	6.027	4.783	1085	685	63.134	93	0.556

TABLEAU A. — *Données générales de l'observation. — Catégorie des bœufs de races françaises.*

(SUITE.)

RACE.	Numero d'ordre.	AGE.		Circonférence thoracique			Taille au garrot.	Longueur de la nuque à la queue.	POIDS		POIDS VIF.	POIDS NET.	RENDEMENT en poids net pour 100 de poids vif.	POIDS du suif.	RAPPORT DU POIDS des poumons à 100 de poids vif.
				droite.	oblique.	moyenne.			des poumons.	du cœur.					
		ans	mois	m.	m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.	k.		k.	
Bourbonnais	28	5		2.44	2.62	2.53	1.46	2.60	4.876	4.101	950	627	66.000	90	0.513
Garonnais	29	5		2.59	2.84	2.715	1.51	2.70	4.394	4.212	1055	680	64.455	130	0.417
	30	6		2.60	2.80	2.70	1.54	2.40	4.342	4.067	1010	685	67.822	104	0.430
	31	6		2.66	2.85	2.755	1.56	2.30	6.100	4.818	1030	705	68.447	87	0.592
Garonnais-Limousins	32	4	6	2.52	2.66	2.59	1.55	2.60	4.195	3.750	1000	636	63.600	100	0.420
	33	6		2.67	2.90	2.785	1.52	2.60	3.572	3.969	1050	685	65.238	121	0.340
	34	6 à 7		2.60	2.85	2.725	1.62	2.60	6.598	5.963	1130	729.5	64.558	110	0.584
Limousins	35	3	11	2.50	2.65	2.575	1.49	2.20	6.437	4.869	915	545	59.563	101	0.703
	36	4		2.52	2.65	2.585	1.53	2.52	6.100	4.336	985	595	60.406	93	0.619
	37	4		2.60	2.74	2.67	1.53	2.20	3.705	3.330	950	625.5	65.842	86	0.390
	38	4	6	2.59	2.82	2.705	1.58	2.40	3.028	3.010	935	640	68.449	74	0.324
	39	5		2.50	2.60	2.55	1.50	2.48	4.888	3.895	850	550	64.706	68	0.575
	40	5		2.51	2.60	2.555	1.54	2.27	4.876	4.034	905	588	64.972	66	0.539
	41	5	6	2.60	2.80	2.70	1.61	2.60	6.058	4.360	960	614	63.958	76	0.631
	42	5	11	2.40	2.63	2.515	1.62	2.32	6.209	4.817	870	525	60.345	55	0.714
	43	6		2.35	2.62	2.485	1.49	2.25	4.876	4.231	820	520	63.415	86	0.595
	44	6		2.68	2.88	2.78	1.57	2.66	5.234	4.396	1120	731	65.268	116	0.467
Limousin-Salers	45	4	6	2.45	2.61	2.53	1.48	2.35	4.865	3.700	820	515	62.805	86	0.593
	46	5		2.60	2.78	2.69	1.58	2.22	4.847	4.705	1020	658	64.510	115	0.475
Salers	47	5 à 6		2.48	2.70	2.59	1.54	2.25	4.454	3.707	900	562.5	62.444	90	0.495
	48	6		2.65	2.85	2.75	1.63	2.65	4.707	4.672	1040	710	68.269	100	0.453
	49	7		2.63	2.86	2.745	1.64	2.40	4.317	4.590	970	673	69.381	74	0.445
Aubrac	50	5		2.40	2.60	2.50	1.48	2.30	4.758	3.760	775	475	61.290	66	0.614
Comtois	51	5		2.36	2.58	2.47	1.47	2.35	4.871	3.883	860	545	63.372	70	0.566
Breton	52	5		2.28	2.30	2.29	1.35	2.15	4.057	4.160	650	427	65.692	73	0.624

Tableau B. — *Données générales de l'observation.*

Catégorie des bœufs de races britanniques.

RACE.	Numéro d'ordre.	AGE.			CIRCONFÉRENCE thoracique			TAILLE AU GARROT.	LONGUEUR DE LA NUQUE à la queue.	POIDS		POIDS VIF.	POIDS NET.	RENDEMENT en poids net pour 100 de poids vif.	POIDS DU SUIF.	RAPPORT du poids des poumons à 100 de poids vif.
		ans	mois	jours	droite.	oblique.	moyenne			des poumons.	du cœur.					
					m.	m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.	k.		k.	
Durham	1	2	9		2.60	2.70	2.65	1.48	2.48	3.758	3.699	925	636	68.757	80	0.405
	2	2	10		2.40	2.60	2.50	1.45	2.20	3.652	3.869	825	587	71.152	61	0.443
	3	2	10		2.51	2.66	2.585	1.50	2.20	4.450	4.279	910	585	64.286	102	0.489
	4	2	11		2.45	2.70	2.575	1.50	2.20	6.411	6.006	895	582	65.028	104	0.716
	5	3	2		2.75	2.80	2.775	1.52	2.50	4.121	4.097	1010	724	71.683	94	0.408
	6	3	6		2.30	2.45	2.375	1.40	2.10	3.750	2.890	780	516	66.154	59	0.481
	7	3	10		2.65	2.79	2.72	1.48	2.20	4.325	4.201	1036	674	65.058	98	0.417
	8	3	11		2.62	2.73	2.675	1.45	2.30	4.100	3.834	940	630.5	67.074	115	0.436
	9	4			2.92	3.15	3.035	1.67	2.45	4.771	4.640	1300	910	70.000	165	0.367
	10	4	4		2.57	2.84	2.705	1.45	2.40	4.159	3.757	1100	710	64.545	86	0.378
	11	5	3		2.62	2.70	2.66	1.54	2.54	4.807	4.766	1100	760	69.091	120	0.437
	12	6			2.49	2.65	2.57	1.51	2.45	5.223	4.286	1110	760	68.468	74	0.471
Durham-Angus	13	5	2		2.61	2.70	2.655	1.52	2.40	3.511	4.026	1130	817	72.301	110	0.311
Angus	14	3	1		2.86	3.15	3.005	1.59	2.65	3.922	4.079	825	542	65.697	70	0.475
	15	4	8		2.93	3.10	3.015	1.60	2.68	3.876	4.078	1210	875	72.314	105	0.320
Hereford	16	4	3	15	2.49	2.61	2.55	1.48	2.52	3.643	3.641	990	686	69.293	116	0.368
Devon	17	3			2.28	2.32	2.30	1.28	2.10	3.000	2.898	620	414	66.774	74	0.484
West-Highland	18	4	3		2.54	2.72	2.63	1.45	2.35	2.357	2.696	625	410	65.600	43	0.377
	19	5	3		2.45	2.68	2.565	1.52	2.28	2.895	3.000	675	430	63.704	79	0.429

TABLEAU C. — *Données générales de l'observation.* — *Catégorie des bœufs croisés.*

CROISEMENT.	Numéro d'ordre.	AGE. ans	AGE. mois	AGE. jour	Circonférence thoracique droite.	Circonférence thoracique oblique.	Circonférence thoracique moyenne	Taille au garrot.	Longueur de la nuque à la queue.	POIDS des poumons	POIDS du cœur.	POIDS VIF.	POIDS NET.	Rendement en poids net pour 100 de poids vif	Poids du suif.	Rapport du poids des poumons à 100 de poids vif.
					m.	m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.	k.		k.	
	1	2	11		2.20	2.42	2.81	1.40	2.10	2.950	3.010	745	517.5	69.463	68.5	0.396
Durham-Schwitz-	2	2	11	10	2.25	2.40	2.325	1.41	1.95	2.950	2.900	690	450	65.217	61	0.428
Normands.........	3	3	7		2.45	2.62	2.535	1.45	2.20	4.600	3.742	890	603	67.753	82.05	0.517
	4	4		13	2.52	2.67	2.595	1.48	2.10	3.058	3.055	770	536	69.610	71	0.397
	5	4	2		2.55	2.70	2.625	1.45	2.30	4.025	3.873	1030	731	70.971	100	0.391
Durham-Normands..	6	3	2		2.48	2.63	2.555	1.47	2.15	2.961	2.957	880	599.5	68.125	71	0.336
	7	3	4		2.43	2.55	2.49	1.28	2.10	3.545	3.900	800	556	69.500	80	0.443
	8	2	5		2.31	2.44	2.375	1.34	1.90	3.665	2.991	675	443.5	65.704	73	0.543
	9	3			2.55	2.67	2.61	1.45	2.40	3.674	3.887	960	659	68.646	61	0.383
	10	3	3		2.72	2.89	2.805	1.50	2.28	4.000	4.211	1040	734.5	70.625	91	0.385
	11	3	6		2.63	2.74	2.685	1.47	2.20	4.393	4.085	950	648	68.211	90.5	0.462
	12	3	8		2.70	2.89	2.795	1.55	2.40	3.491	4.009	1060	735	69.340	105	0.329
Durham-Manceaux..	13	3	10		2.64	2.67	2.655	1.48	2.35	4.041	4.144	880	620	70.455	96	0.459
	14	4			2.88	3.05	2.965	1.59	2.50	4.019	4.185	1165	799	68.584	128	0.345
	15	4	1		2.50	2.80	2.65	1.48	2.50	4.117	4.158	950	615	64.737	156	0.433
	16	4	2		2.50	2.80	2.65	1.46	2.35	3.670	3.335	860	575	66.860	72	0.427
	17	4	2		2.66	2.75	2.705	1.52	2.45	4.293	4.303	1010	680	67.327	93	0.426
	18	4	4		2.52	2.75	2.635	1.47	2.50	4.445	4.300	980	643	65.612	119	0.454
	19	2	10	22	2.25	2.45	2.35	1.40	2.20	3.510	3.925	685	440	64.234	69	0.512
	20	3	4		2.37	2.45	2.41	1.47	2.10	2.903	2.892	730	503	68.904	73	0.398
	21	3	4		2.42	2.57	2.495	1.49	2.10	4.100	4.000	850	575	67.647	91	0.482
	22	3	10		2.45	2.56	2.505	1.43	2.15	3.512	4.120	725	489	67.448	54	0.484
Durham-Charolais..	23	3	11		2.68	2.82	2.75	1.55	2.20	4.082	4.260	975	638	65.436	120	0.419
	24	4	2		2.55	2.60	2.575	1.40	2.30	4.737	3.670	870	600	68.966	82	0.544
	25	4	3		2.55	2.85	2.70	1.55	2.35	3.937	4.568	980	673.5	68.724	83.5	0.402
	26	5	1		2.60	2.70	2.65	1.50	2.40	4.052	4.155	980	644	65.714	82	0.413
	27	6			2.75	2.80	2.775	1.59	2.33	3.610	4.000	1010	729.5	72.228	82	0.357
	28	7			2.57	2.70	2.635	1.46	2.35	4.800	4.666	1020	724.5	71.029	99.5	0.471
Durham-Breton....	29	3	11		2.45	2.56	2.505	1.43	2.10	3.169	3.200	760	527	69.342	40	0.417
Ayr-Durham-Breton.	30	1	11		2.38	2.46	2.42	1.40	2.25	2.208	2.547	610	445	69.531	54	0.345
Ayr-Breton.......	31	2	10		2.20	2.35	2.275	1.30	2.00	4.020	4.105	630	415	65.873	66	0.638

Le tableau D résume les faits de manière à mettre en parallèle la circonférence thoracique, le poids vif, le poids net et le poids du suif, pour les bœufs d'âge comparable, et pour les différents âges relativement les uns aux autres.

Dans la catégorie des races françaises je distingue quatre groupes. Les bœufs sont au-dessous de quatre ans dans le premier; ils ont de quatre à cinq ans dans le second; de cinq à six ans, dans le troisième; de six à sept ans, dans le quatrième.

Parmi les bœufs de races britanniques je n'ai pu, vu le nombre moindre de têtes, établir que deux groupes: le premier, formé des animaux au-dessous de quatre ans; le second, composé des animaux ayant dépassé cet âge.

Les bœufs provenant de croisements sont partagés en trois groupes comprenant: le premier, les animaux âgés de deux ans à trois ans et demi; le second, ceux qui sont âgés de trois ans et demi à quatre ans; le troisième, ceux qui ont de quatre à sept ans.

Dans chacun de ces groupes des trois catégories je forme deux sections, fondées sur le développement plus ou moins considérable de la poitrine. Dans la première se placent les bœufs dont la circonférence thoracique est la plus petite; dans la seconde, ceux dont la circonférence est la plus grande. C'est la comparaison de ces deux sections l'une à l'autre qui doit indiquer s'il y a quelque rapport constant entre l'ampleur de la poitrine et l'aptitude à prendre du poids.

Le simple rapprochement de ces deux sections dans chaque groupe montre qu'à tout âge, pour les bœufs français, britanniques et croisés, aux plus grandes circonférences thoraciques correspondent le poids vif, le poids net et le poids du suif les plus élevés. Dans les dix-huit sections ainsi comparées deux à deux, et pour cinquante-quatre nombres formant les éléments de la comparaison, il ne se présente qu'une seule exception, pour les bœufs français de quatre à cinq ans; encore ne porte-t-elle que sur le poids du suif, le plus variable des gains que l'engraissement peut apporter à l'organisme.

Les courbes de la figure 1 mettent ces résultats en évidence; elles montrent que la Circonférence thoracique, le Poids vif et le Poids net ont un mouvement commun dans le même sens; que la Circonférence et le Poids vif, en particulier, suivent une marche presque parallèle.

TABLEAU D. — *Comparaison des Bœufs de différents âges (Groupes) et d'âges voisins (Sections) : Rapport entre la Circonférence thoracique et le Poids acquis.*

CATÉGORIE.	AGE DES BŒUFS dans chaque groupe.	NOMBRE de têtes.	Circonférence thoracique moyenne.	POIDS vif moyen.	POIDS net moyen.	POIDS moyen du suif.	SECTIONS dans chaque groupe.	NOMBRE de têtes.	Circonférence thoracique moyenne.	POIDS vif moyen.	POIDS net moyen.	POIDS moyen du suif.
			m.	k.	k.	k.			m.	k.	k.	k.
Bœufs de races françaises.	Au-dessous de 4 ans.	9	2.5 8	863	567	84	Les plus petites circonf. thor..	5	2.464	797	530	76
							Les plus grandes circonf. thor.	4	2.621	946	613	94
	de 4 à 5 ans......	7	2.618	936	608	87	Les plus petites circonf. thor..	4	2.569	928	588	91
							Les plus grandes circonf. thor.	3	2.683	947	636	83
	de 5 à 6 ans......	22	2.589	921	594	91	Les plus petites circonf. thor..	11	2.486	847	540	80
							Les plus grandes circonf. thor.	11	2.693	994	648	101
	de 6 à 7 ans......	14	2.700	1029	672	104	Les plus petites circonf. thor..	7	2.633	1006	645	101
							Les plus grandes circonf. thor.	7	2.767	1052	699	107
Bœufs de races britanniques.	de 3 à 4 ans......	10	2.616	877	589	86	Les plus petites circonf. thor..	5	2.467	806	537	80
							Les plus grandes circonf. thor.	5	2.765	947	641	91
	de 4 à 6 ans.... .	9	2.709	1027	706	100	Les plus petites circonf. thor..	4	2.579	850	572	78
							Les plus grandes circonf. thor.	5	2.814	1168	814	117
Bœufs croisés.	de 2 à 3 ans 1/2..	10	2.452	780	528	71	Les plus petites circonf. thor..	5	2.327	685	453	68
							Les plus grandes circonf. thor.	5	2.577	874	603	74
	de 3 ans 1/2 à 4 ans.	10	2.640	894	612	87	Les plus petites circonf. thor..	5	2.489	781	536	66
							Les plus grandes circonf. thor.	5	2.770	1006	688	108
	de 4 à 7 ans......	11	2.654	951	650	95	Les plus petites circonf. thor..	5	2.613	934	647	94
							Les plus grandes circonf. thor.	6	2.688	965	653	95

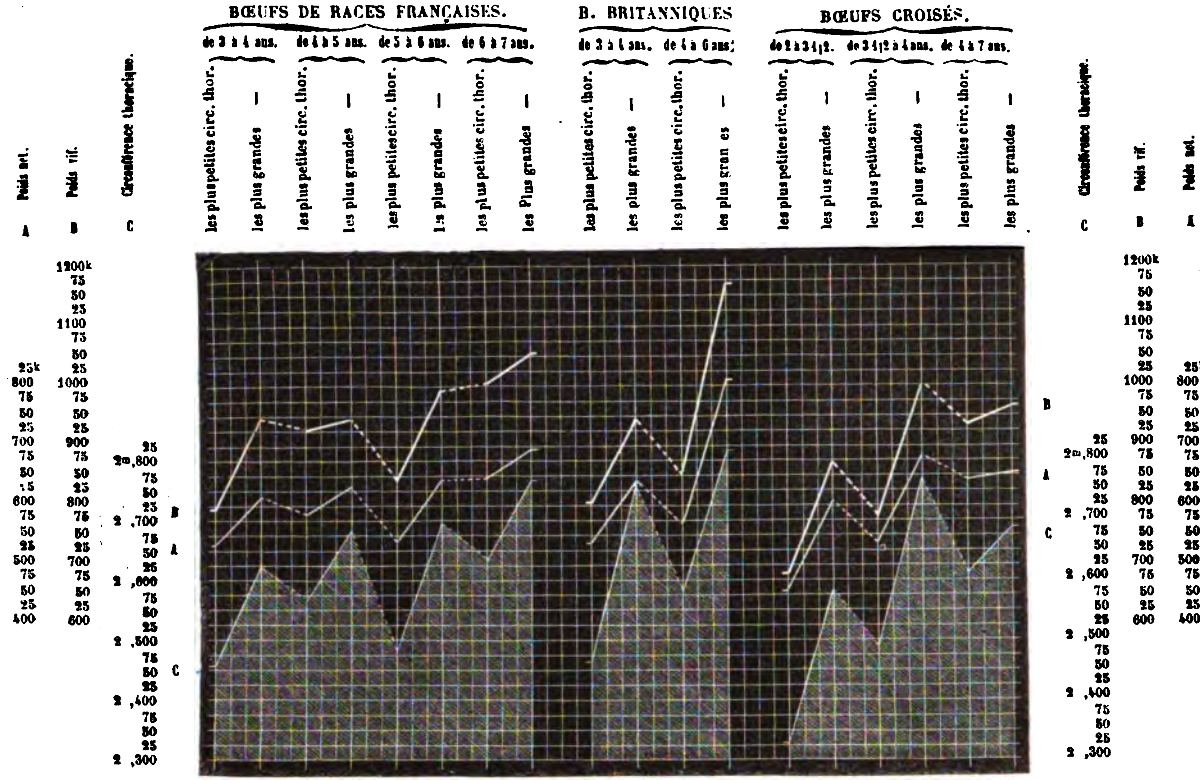

Rapports entre la Circonférence thoracique, le Poids vif et le Poids net dans les Races Bovines.
BŒUFS DE RACES FRANÇAISES.
de 3 à 4 ans.
de 4 à 5 ans.
de 5 à 6 ans.
de 6 à 7 ans.
B. BRITANNIQUES
de 3 à 4 ans.
de 4 à 6 ans.
BŒUFS CROISÉS.
de 2 à 3 1/2.
de 3 1/2 à 4 ans.
de 4 à 7 ans.
les plus petites circ. thor.
les plus grandes —
A Poids net.
B Poids vif.
C Circonférence thoracique.

Fig. 1.

Si nous comparons entre eux les faits relatifs aux groupes de chacune de nos trois grandes catégories, nous remarquons aussi que les poids acquis les plus élevés répondent aux circonférences thoraciques les plus grandes.

Si même, sans tenir compte des différences par sections, nous classons dans chaque catégorie les circonférences thoraciques suivant leur ordre de valeur, et si nous mettons en regard le poids vif qui leur correspond, nous constatons encore la même corrélation, comme le montre le tableau suivant :

TABLEAU E. — *Classement des sections, dans chaque catégorie, d'après la valeur de la circonférence thoracique; poids vif correspondant.*

BOEUFS FRANÇAIS.		BOEUFS BRITANNIQUES.		BOEUFS CROISÉS.	
Circonférence thoracique.	Poids vif.	Circonférence thoracique.	Poids vif.	Circonférence thoracique.	Poids vif.
m.	k.	m.	k.	m.	k.
2.454	797	2.467	806	3.327	685
2.486	847	2.579	850	2.489	781
2.569	928	2.765	947	2.577	871
2.621	946	2.814	1168	2.613	934
2.633	1006			2.688	965
2.683	947			2.770	1006
2.693	994				
2.767	1052				

Le poids net et le poids du suif suivant ordinairement le poids vif dans ses oscillations, selon les indications précédentes, il suffit de rappeler le poids vif pour donner la mesure de la puissance générale d'assimilation des animaux. Or, cette puissance est assez fidèlement représentée ici par le développement de la poitrine, puisque nous ne rencontrons qu'une légère déviation, parmi les sections des bœufs français, à la marche presque parallèle des deux quantités qui expriment la circonférence thoracique et le poids total.

Ainsi, à mesure que l'animal gagne en poids, par suite des progrès de l'âge, ou en raison d'aptitudes individuelles, il gagne aussi en circonférence thoracique. Pour les bœufs appartenant à un même type général, le poids acquis par l'engraissement est

donc plus élevé quand la circonférence thoracique est plus grande, soit que l'on compare entre eux les bœufs à peu près de même âge, soit que l'on compare les uns aux autres les bœufs arrivés à des périodes différentes de leur développement.

Il est important de voir jusqu'à quel point ce résultat général est confirmé par l'analyse des faits relatifs à chaque race dans les trois catégories de bœufs soumis à l'observation. Il faut aussi rechercher si le rapport du poids net au poids vif, le rendement qui signale spécialement l'animal supérieur pour la boucherie, se rattache au développement de la poitrine.

Bœufs français. — Pour cette analyse, je suivrai les faits dans l'ordre où ils sont présentés au tableau A.

Parmi les bœufs *Normands*, le poids vif et le poids net sont plus grands selon que la circonférence thoracique est plus grande. Quant au rendement en poids net pour cent de poids vif, si l'on met d'abord de côté le plus jeune des bœufs qui n'a guère dépassé trois ans et demi, et qui, par conséquent, ne peut être comparé aux trois autres âgés de cinq à six ans, on voit que ceux-ci se classent, pour ce rendement, rigoureusement dans l'ordre de leur ampleur thoracique. On remarque aussi que le rendement net le plus élevé se trouve chez le bœuf (n° 1), dont la hauteur est la moindre, c'est-à-dire dont la poitrine est ainsi proportionnellement plus développée. Lalongueur du corps augmente avec l'ampleur de la région thoracique.

Dans le groupe des *Choletais*, le poids vif absolu et le poids net s'élèvent quand la poitrine prend du développement et quand, à circonférence thoracique voisine, la taille s'abaisse. Pour apprécier le rendement relatif en poids net, il faut distinguer les six bœufs de cinq ans du bœuf âgé de deux ans, qui ne peut être mis en parallèle avec les autres. Parmi les six premiers animaux, trois ont une taille plus petite, et c'est parmi eux que s'observe le rendement en poids net le plus élevé ; il appartient au bœuf n° 8, dont la circonférence thoracique est plus grande que celle des bœufs de taille analogue (les n° 6 et 7), et chez lequel les deux mesures droite et oblique sont plus rapprochées, ce qui indique que son tronc est à la fois plus développé et plus régulièrement cylindrique. Les autres bœufs prennent rang à distance de celui-ci ; ils se classent sensiblement dans l'ordre que

leur assigne leur ampleur thoracique, relativement à leur taille et à la régularité cylindrique de leur poitrine.

Dans le groupe de la race *Charolaise* qui compte seize animaux, six ont de trois à quatre ans et peuvent être d'abord comparés ensemble. Le rendement le plus élevé, qui s'approche de 71 pour cent, est présenté par le bœuf nº 12, dont l'ampleur thoracique surpasse celle des autres bœufs les plus jeunes, et ceux-ci se classent, pour leur rendement, dans l'ordre même de leur circonférence thoracique, à l'exception du bœuf nº 17. Mais le rendement plus faible de ce bœuf, malgré sa circonférence thoracique plus grande, s'explique par sa taille plus élevée, qui réduit proportionnellement les dimensions de sa poitrine. Il faut remarquer aussi que le bœuf dont le rendement tient le premier rang est plus régulièrement cylindrique, comme l'indique la faible différence entre ses deux circonférences droite et oblique; supériorité de conformation plus importante pour la race Charolaise que pour d'autres, car cette race a plus prononcé que d'autres le défaut d'être sanglée derrière les épaules.

Parmi les quatre Charolais âgés de quatre à cinq ans, le rendement le plus élevé est celui du bœuf nº 20, dont l'ampleur thoracique, absolument plus faible que celle des deux bœufs nºs 19 et 21, est en réalité plus grande, relativement à sa taille plus petite; sa forme est d'ailleurs plus régulière, car il n'y a qu'une faible différence entre la circonférence oblique et la circonférence droite de sa poitrine. La grande taille du nº 21 diminue considérablement ce que le grand développement de sa région thoracique aurait de favorable; aussi son rendement s'abaisse-t-il.

Parmi les six Charolais âgés de cinq à sept ans, les deux rendements les plus faibles sont ceux des bœufs nºs 24 et 27, dont l'ampleur thoracique est la moindre; les rendements les plus élevés, tous trois voisins, correspondent aux mesures les plus grandes de la circonférence pectorale.

Du reste, pour la race Charolaise, comme pour les autres, le poids vif absolu est plus élevé quand la poitrine est plus vaste; le rapport est presque mathématiquement exact. Le corps prend souvent plus de longueur, en même temps que la région thoracique prend un plus grand diamètre.

Des trois bœufs *Garonnais*, voisins d'âge, de taille et de di-

mensions pectorales, celui qui accuse le rendement net le plus élevé est celui qui mesure la plus grande circonférence thoracique (nº 31).

Les trois bœufs *Garonnais-Limousins* se classent rigoureusement pour le rendement net d'après la circonférence de leur poitrine. Ayant tous trois un tronc identiquement de même longueur, ils mettent parfaitement en lumière l'influence de l'ampleur thoracique combinée avec la taille ; c'est le bœuf le moins haut au garrot et le plus grand de circonférence pectorale qui tient le premier rang ; les deux autres se suivent, en observant les mêmes rapports. Comme la longueur du corps est la même pour les trois bœufs, le poids vif absolu reste entièrement sous la dépendance de l'ampleur de la poitrine, si les faits restent ici soumis aux principes que nous avons vus découler des précédentes comparaisons ; or, il en est précisément ainsi, et le poids vif est d'autant plus élevé que la région thoracique est plus grande.

Des dix bœufs *Limousins*, quatre sont âgés de quatre ans moins un mois à quatre ans et demi ; six ont de cinq à six ans. Parmi les quatre plus jeunes, le premier rang pour le rendement en poids net appartient à celui dont la circonférence thoracique est la plus grande (nº 38), et les trois autres se classent très-exactement d'après le même principe. C'est aussi le bœuf dont la circonférence thoracique est la plus grande (nº 44) qui prend la tête pour le rendement net parmi les bœufs plus âgés. Les deux bœufs nºs 39 et 40, dont la circonférence ne diffère que d'un demi-centimètre, et pour lesquels cette moyenne, presque la même, résulte de deux mesures, droite et oblique, à peu près identiques, donnent deux rendements nets, qui diffèrent l'un de l'autre de moins de 27 centièmes. Quand les dimensions de la région thoracique sont semblables, les rendements sont donc voisins ; c'est encore une confirmation des principes qui paraissent s'établir de mieux en mieux à chaque pas que nous faisons dans l'analyse des faits. Nous observons aussi pour la race limousine les rapports que nous avons vus déjà s'établir entre le poids vif absolu, l'ampleur de la poitrine et la longueur du corps : c'est le bœuf dont l'ampleur thoracique est la plus grande (nº 44) et le tronc le plus long qui donne le poids vif le plus considérable, notablement plus élevé que celui de tous les autres bœufs de même race ; c'est le bœuf (nº 43), dont la circonférence thoracique

et la longueur du corps sont les plus faibles, qui donne le poids vif le moins fort.

Parmi les quatre bœufs de *Salers*, âgés de cinq à sept ans, les deux rendements nets les plus élevés, très-voisins l'un de l'autre, se rapportent aux deux bœufs (n°s 48 et 49) qui ont la plus grande circonférence thoracique, laquelle est aussi presque la même pour l'un et pour l'autre. Les deux rendements les plus faibles, sensiblement au-dessous des deux précédents, sont donnés par les bœufs (n°s 46 et 47) qui mesurent la plus petite circonférence thoracique, notablement inférieure à celle des deux premiers bœufs; le moins élevé de ces deux rendements est aussi celui du bœuf le moins ample de poitrine (n° 47). Quant au poids vif, il est le plus grand chez le bœuf qui a la plus vaste région thoracique (n° 48); c'est aussi celui dont le corps est le plus long.

Bœufs britanniques (tableau B). — Parmi les six premiers bœufs *Durham*, les plus jeunes du groupe et âgés de deux ans neuf mois à trois ans et demi, le rendement le plus élevé en poids net, soit *plus de* 71,5 pour cent du poids vif, est donné par le bœuf (n° 5) *qui* a la circonférence thoracique la plus grande, et dont la conformation est aussi la plus régulière, car il n'y a qu'une différence de 5 centimètres entre la circonférence droite et la circonférence oblique; son tronc a, en même temps, le plus de longueur. Le bœuf (n° 2), qui prend le second rang, par un rendement qui dépasse un peu 71 pour 100, a une circonférence thoracique plus petite que celle du précédent, et même absolument moins grande *que* celle des deux bœufs voisins; mais sa taille est moindre, ce qui rend sa circonférence thoracique plus grande relativement à ses dimensions générales, et son corps a plus de longueur que celui des bœufs de taille plus grande que la sienne. Les autres bœufs se classent, pour leur rendement proportionnel en viande nette, sensiblement dans l'ordre de leur circonférence thoracique.

Dans la division des six autres Durham, âgés de trois ans dix mois à six ans, la plus grande circonférence thoracique est de 3m,035; c'est celle d'un bœuf (n° 9) dont le rendement aux quatre quartiers a été de 70 pour 100 du poids sur pieds, le plus élevé des rendements de cette division.

Le bœuf n° 11 donne un rendement égal à 69 pour 100, supé-

rieur à celui des bœufs nos 7, 8 et 10, bien que sa circonférence thoracique soit absolument un peu plus faible; mais il n'y a qu'une différence de 8 centimètres entre ses deux circonférences droite et oblique, tandis que la différence entre les deux mêmes mesures est de 11, de 14 et de 27 centimètres pour les trois autres bœufs. Sa région thoracique est donc plus régulièrement développée en cylindre que celle de ses voisins, et il est à noter que le bœuf no 10, qui accuse l'écart de 27 centimètres, c'est-à-dire qui se montre plus sanglé que les autres derrière les épaules, est celui qui donne le plus faible rendement.

Des conséquences de même ordre se présentent quand on rapproche les animaux de mêmes dimensions ou de même poids, pour les comparer sous les autres rapports. Ainsi les deux bœufs Durham nos 3 et 4 ont absolument la même taille et la même longueur de corps; ils ont le même âge, à trois mois près; la même circonférence moyenne, à un centimètre près; ils se ressemblent donc presque complétement à l'extérieur; aussi donnent-ils un poids net et une quantité de suif presque semblables; le rapport du poids net à 100 de poids vif est également très-voisin : il est de 64,3 pour l'un et de 65 pour l'autre.

Les deux bœufs de même race nos 10 et 11, dont il a été déjà question, accusent un même poids vif, 1100 kilogrammes; mais ils diffèrent sous tous les autres rapports; la supériorité du rendement en poids net et en suif reste à celui dont la poitrine, sans avoir tout à fait une circonférence aussi grande, est plus régulièrement cylindrique.

Dans l'une et l'autre division des Durham, le poids vif est plus élevé quand l'ampleur thoracique est plus grande, et le corps est en même temps généralement plus long. On est surpris de la constance de cette coïncidence sur un aussi petit nombre d'animaux, et cette généralité même, confirmée par des observations concordantes dans toutes les autres races, tend à donner au fait l'importance d'une loi.

Des deux bœufs de race *Angus*, celui qui donne le rendement le plus élevé en poids net est aussi celui qui a la région thoracique la plus développée, et chez lequel les deux circonférences droite et oblique diffèrent le moins (no 15). Bien que ces bœufs fussent tous deux fort remarquables, celui qui se classe le premier était un animal tout à fait exceptionnel et tel qu'on en ren-

contre rarement, même dans les Concours de boucherie les plus remarquables ; il venait d'Aberdeen, des étables de M. W. Mac Combie ; il a donné plus de 72 pour 100 en poids net, et sa qualité était tout à fait supérieure. A la plus ample poitrine correspondait, d'ailleurs, le poids vif le plus fort.

Le bœuf *Durham-Angus* (n° 13), dont le rendement est à peu près le même que celui de l'Angus dont il vient d'être question, ne présentait pas une circonférence thoracique aussi grande, mais sa taille était de 8 centimètres plus petite que celle du bœuf Angus ; il était moins long, par conséquent plus ramassé, et il était admirablement suivi dans ses formes, comme l'atteste la faible différence entre sa circonférence droite et sa circonférence oblique.

Si l'on rapproche le bœuf Angus n° 15, âgé de quatre ans et huit mois, du bœuf Durham n° 9, âgé de quatre ans, l'un et l'autre accusant les circonférences thoraciques les plus grandes parmi les bœufs britanniques, on constate non-seulement que leur rendement est le plus élevé, chacun dans son groupe, mais encore que le bœuf Angus en donne un plus considérable que le bœuf *Durham* ; or, bien que sa circonférence soit un peu moindre, sa taille est proportionnellement plus petite, et son corps est beaucoup plus long,

Des deux *West-Highlands*, le bœuf dont le rendement net est le plus élevé (n° 18) est aussi celui dont la circonférence thoracique est la plus grande.

Les rendements des bœufs *Hereford* et *Devon* confirment les conséquences auxquelles conduisent les exemples précédents, *bien* que ces animaux, seuls chacun dans sa race, ne puissent être l'objet d'une comparaison du même ordre.

Bœufs croisés (tableau C). — Parmi les *Durham-Schwitz-Normands*, trois sont âgés de trois ans et un mois à trois ans et demi, deux ont plus de quatre ans. Des trois plus jeunes, le bœuf qui donne le poids net relatif le plus considérable (n° 1) n'est pas celui dont la circonférence thoracique est la plus grande, et, bien que la taille de ce bœuf soit plus petite que celle des autres, elle en diffère trop peu pour qu'il soit possible d'y trouver une compensation au développement moindre de la poitrine. Il se présente donc ici une exception qui doit, sans doute, être remarquée, mais qui reste si bien individuelle que les deux autres bœufs plus

jeunes, comme les deux bœufs plus âgés, suivent, dans l'ordre où ils se placent par leur poids net relatif, le principe qui paraît, dans toutes les races, lier le rendement à l'ampleur de la région thoracique. Cette exception ne saurait donc infirmer une règle à laquelle tous les autres faits impriment un caractère si grand d'universalité, et qui trouve son application pour les autres animaux de même origine. Pour les Durham-Schwitz-Normands, comme pour les autres races, le poids vif est, d'ailleurs, plus élevé quand la poitrine est plus développée, et le corps prend en même temps plus de longueur.

Les deux *Durham-Normands* ont sensiblement le même âge; le rendement net est presque le même pour l'un et pour l'autre; il est, cependant, un peu plus élevé pour le bœuf nº 7 qui, d'une taille beaucoup moins haute que le nº 6, présente une circonférence thoracique proportionnellement plus considérable. Le poids vif le plus élevé est celui du bœuf nº 6, dont l'ampleur thoracique est la plus grande; mais, comme les différences dans les dimensions sont petites, la différence dans le poids vif est faible.

Les *Durham-Manceaux* sont au nombre de onze : six sont âgés de deux ans et demi à trois ans dix mois, et peuvent être réunis en une même division; cinq ont de quatre ans à quatre ans et quatre mois, et forment aussi un groupe d'individus comparables entre eux. Les deux bœufs nºs 10 et 12, dont la circonférence thoracique a presque la même mesure, la plus grande parmi les bœufs les plus jeunes, donnent aussi un rendement net très-analogue et le plus élevé de leur division. Si le bœuf nº 13 se place sur la même ligne qu'eux, bien que son ampleur thoracique soit sensiblement plus faible, il le doit à une taille plus petite et à la régularité de sa forme cylindrique : on ne compte pas plus de sept centimètres de différence entre ses deux circonférences droite et oblique. Les autres bœufs prennent rang en raison du développement de leur poitrine, et celui qui a la plus petite circonférence thoracique (nº 8) est aussi celui qui accuse le rendement net le plus faible.

Parmi les cinq Durham-Manceaux les plus âgés, le bœuf nº 14 a la poitrine la plus ample; il donne le rendement net le plus élevé. Après lui, les autres bœufs prennent, pour le rendement, un ordre correspondant à leur circonférence thoracique. Pour

les deux bœufs nos 15 et 16 la mesure droite et oblique de la poitrine est absolument la même; la supériorité pour le rendement net reste à celui qui a la taille la moins haute (no 16), c'est-à-dire à celui qui possède, en réalité, la plus ample poitrine par rapport à ses dimensions générales. Le poids vif correspond encore, pour les bœufs les plus jeunes comme pour les plus âgés, au plus grand développement de la région thoracique, uni à la plus grande longueur de tronc.

Les *Durham-Charolais*, au nombre de dix, peuvent se partager en deux catégories : dans l'une, les animaux, plus jeunes, ont de deux ans dix mois à trois ans onze mois; dans l'autre, les animaux, plus âgés, ont de quatre ans deux mois à sept ans.

Dans le premier groupe, le bœuf no 23, bien qu'il ait la circonférence thoracique la plus grande, ne se place pas le premier par son rendement en poids net; mais sa taille dépasse de huit centimètres la taille moyenne des autres, différence qui atténue considérablement la valeur de sa circonférence thoracique et doit, conformément à ce qui a lieu pour toutes les races, diminuer aussi le rapport de son poids net à son poids vif. Les trois bœufs nos 20, 21 et 22, dont le rendement net est voisin, ont une ampleur thoracique supérieure à celle du bœuf no 19, dont la circonférence et le rendement sont les plus faibles de la catégorie.

Parmi les cinq Durham-Charolais plus âgés, le premier rang pour l'ampleur thoracique comme pour le rendement appartient au bœuf no 27. Le rendement le plus élevé ensuite est celui du bœuf no 28 que sa circonférence thoracique placerait après les deux bœufs nos 25 et 26, mais qui est de moindre taille et obtient ainsi une compensation favorable. Il en faut dire autant du bœuf no 24, comparativement aux deux bœufs nos 25 et 26. Quant à ces deux bœufs, ils ont le même poids vif, mais leur rendement net diffère; il est plus élevé pour le bœuf no 25, dont l'ampleur thoracique est aussi plus grande.

L'analyse des faits relatifs aux diverses races bovines et aux divers âges des animaux conduit, on le voit, aux mêmes conséquences que leur résumé sommaire avait déjà présentées. On peut donc conclure à l'exactitude générale de l'opinion, née de l'observation pratique, suivant laquelle la supériorité comme animaux de boucherie appartient aux bœufs dont la région tho-

racique est le plus développée. Mais l'application d'une méthode plus rigoureuse d'étude permet de faire de cette opinion une doctrine, en lui donnant pour base des données certaines, et en précisant sa portée. Elle montre qu'une ampleur thoracique plus considérable est généralement accompagnée d'une longueur plus grande du corps, comme d'un caractère complémentaire propre à assurer au bœuf un poids vif très-élevé. Elle établit encore que, si la région thoracique, outre qu'elle est vaste, est régulière dans sa forme, et qu'en même temps la taille de l'animal soit relativement basse, cet animal annonce un rendement en poids net considérable par rapport au poids vif. La perfection au point de vue de la boucherie résulterait donc de la réunion de toutes les conditions promettant un poids absolu très-grand et un rendement net très-élevé : ampleur de la région thoracique; régularité de la forme cylindrique de cette région se rattachant au reste du corps sans dépression sensible; développement complémentaire du tronc; réduction de la hauteur au garrot, c'est-à-dire, d'après cet ensemble de caractères, brièveté des membres et abaissement du sternum. Ce sont, en définitive, les qualités que recherche l'éleveur des races perfectionnées, quand il demande une poitrine profonde, des formes *suivies* et un animal *près de terre*.

Le tableau suivant présente, sous forme de résumé, une confirmation des mêmes résultats généraux, en rapportant les faits à l'ensemble de chacune de nos trois grandes catégories.

TABLEAU F. — *Comparaison des trois catégories de bœufs : ampleur thoracique, poids acquis, taille et rendement proportionnel en poids net.*

CATÉGORIE.	Circonférence thoracique moyenne.	Poids vif moyen.	Poids net moyen.	Poids moyen du suif.	Rendement en poids net pour 100 de poids vif.	Hauteur moyenne au garrot.
	m.	k.	k.	k.		m.
Bœufs français.....	2.613	942	612	92	65.007	1.516
Bœufs britanniques.	2.660	948	645	92	68.025	1.494
Bœufs croisés......	2.582	877	598	84	68.218	1.459

Les deux principes essentiels qui ressortent de l'examen détaillé des faits sont mis en parfaite évidence par ces moyennes

propres à chaque catégorie : le classement d'après les poids acquis correspond directement au classement d'après le développement de la poitrine; le rendement net par rapport au poids vif suit un ordre inverse de l'ordre indiqué par la hauteur de la taille.

Ce résumé n'aurait pas une grande valeur si les observations de détail n'étaient préalablement d'accord, car le nombre des animaux n'est pas le même dans chaque catégorie, et les divers âges n'y sont pas représentés par une proportion équivalente de têtes. Mais, outre que les animaux sont à des états d'engraissement correspondants, ils conduisent si uniformément aux mêmes conclusions, de quelque manière qu'on envisage les faits, que ce groupement par catégorie n'est, en définitive, qu'une manière plus concise de présenter les résultats fournis par la comparaison des individus entre eux ou des races entre elles.

Renseignements empruntés aux Comptes rendus des Concours publics. — Bien que ces conséquences paraissent suffisamment établies par la constance des données recueillies sur les animaux qui ont fait spécialement l'objet de mes observations, j'ai pensé qu'il ne serait pas sans intérêt de leur chercher un contrôle dans les faits réunis, après les Concours publics, à l'abatage des bœufs primés. J'ai moi-même, depuis sept ans, dirigé et suivi attentivement cet abatage à Paris; je puis donc attester, pour ma part, l'exactitude des opérations dont les résultats sont consignés dans les Comptes rendus des Concours de Boucherie publiés par l'administration de l'agriculture. J'extrais de ces Comptes rendus les renseignements qui se rapportent, de 1853 à 1858, à soixante-cinq bœufs appartenant à quatre des principales races qui figurent en plus grand nombre au Concours de Poissy : les Charolais, les Limousins, les Salers et les Durham-Manceaux. Une analyse rapide des faits groupés dans le tableau particulier à chacune de ces races suffira pour conduire à la vérification qu'il s'agit d'obtenir.

Les bœufs *Charolais* (tableau G) sont au nombre de 27; ils peuvent se partager, d'après l'âge, en plusieurs sections suffisamment nombreuses pour que la comparaison s'y particularise et y devienne plus rigoureuse entre des animaux de condition plus voisine.

TABLEAU G. — *Renseignements empruntés aux Comptes rendus des Concours publics. — Bœufs de race Charolaise.*

Numéro d'ordre.	AGE.		CIRCONFÉRENCE THORACIQUE			TAILLE AU GARROT.	LONGUEUR de la nuque à la queue.	POIDS VIF.	POIDS NET.	RENDEMENT en poids net pour 100 de poids vif.
			droite.	oblique.	moyenne.					
	ans.	mois.	m.	m.	m.	m.	m.	k.	k.	
1	3	1	2.23	2.34	2.285	1.37	1.98	670	439	65.522
2	3	5	2.47	2.52	2.495	1.43	2.30	900	630	70 000
3	3	6	2.35	2.50	2.425	1.56	»	900	575.5	63.944
4	3	6	2.40	2.57	2 485	1 57	»	830	533.5	64.277
5	3	10	2.32	2.50	2.410	1.47	2.41	817	544	64.227
6	3	11	2.38	2.61	2 495	1.40	2.38	835	561.5	67.246
7	4	1	2 62	2.90	2.760	1.49	2.50	960	653	68.021
8	4	6	2.60	2.65	2 625	1.50	2 30	935	615	65.775
9	4	6	2.47	2 67	2.570	1.51	2 40	980	645	65 816
10	4	9	2.73	2.95	2.840	1.59	2 60	1155	781.5	67.662
11	4	10	2.63	2.81	2 720	1 47	2.44	1020	695	68.137
12	5		2.65	2.81	2.730	1.64	2 40	1080	710	65.741
13	5		2.44	2.70	2.570	1 50	2.25	900	590	65.556
14	5 à 6		2.48	2 70	2.590	1 47	2.25	890	586.5	65 899
15	6		2.60	2 85	2.725	1.50	2.30	1010	685	67 822
16	6		2.63	2.70	2.665	1.60	2.50	960	635	66;146
17	6		2.57	2.75	2.660	1.47	2.57	975	632	64.821
18	6		2.50	2.75	2.625	1.47	2.20	870	519	63.103
19	6		2.48	2.73	2.605	1.51	2.45	950	625	65.789
20	6		2.50	2.70	2.600	1.48	2.43	920	599	65.109
21	6		2.54	2.64	2.590	1.43	2.12	905	596	65.856
22	6		2.48	2.65	2.565	1.60	»	1015	652	64.236
23	6		2.40	2.67	2 535	1.44	1.57	940	605.5	64.415
24	6		2.43	2.58	2.505	1.55	»	877	562	64.236
25	6		2.40	2.55	2.475	1.53	»	910	588	64.614
26	7		2.64	2.81	2.725	1.48	2.25	1010	658	65.149
27	7		2.59	2.68	2.635	1.49	2.22	1030	667	64.757

Parmi les quatre premiers animaux, âgés de trois ans et un mois à trois ans et six mois, le premier rang pour le rendement appartient au bœuf n° 2, qui tient aussi le premier rang par le développement de la poitrine. Sa supériorité sous ce dernier rapport ne paraît pas être très-grande quand on prend les chiffres dans leur valeur absolue, car sa circonférence est de 2m,495, tandis que celle du bœuf n° 4, celui qui donne la circonférence la plus grande après lui, est de 2m,485, ou d'un centimètre seulement plus petite. Mais quand on remarque que la taille du premier bœuf n'est que de 1m,43, alors que celle du second est

de 1m,57, c'est-à-dire de 14 centimètres plus haute, on comprend combien la région thoracique du premier l'emporte, par son développement, sur la région thoracique du second, et l'on s'explique le rendement de 70 p. 100, qui distingue le premier. Les trois autres bœufs se classent, pour le rendement net, en raison du développement de leur poitrine, le bœuf nº 1 gagnant en ampleur ce qu'il a de moins en taille.

Entre les deux bœufs nos 5 et 6, âgés de trois ans dix mois et de trois ans onze mois, se présentent des différences notables pour le rendement, correspondant à des différences de même valeur dans l'ampleur thoracique : le bœuf nº 6, plus petit que le bœuf nº 5, a absolument et relativement une poitrine beaucoup plus développée ; son rendement en poids net est aussi plus élevé.

Des trois bœufs nos 7, 8 et 9, âgés de quatre ans un mois à quatre ans et demi, le premier pour le rendement est le nº 7, dont la circonférence est de 2m,76, tandis que celle des deux autres n'est que de 2m,625 et 2m,57 ; la taille plus petite de ce bœuf, qui ne mesure que 1m,49 au garrot, alors que la hauteur *des autres* est de 1m,50 et 1m,54, rend encore plus sensible la supériorité de son ampleur thoracique.

Entre les bœufs nos 10 et 11, âgés de quatre ans neuf mois à quatre ans dix mois, il existe peu de différence pour le rendement net, malgré la différence notable dans la mesure de la circonférence, qui est de 2m,84 pour le premier et de 2m,72 pour le second ; mais à la circonférence la plus grande correspond une taille de 1m,59, tandis que la plus petite se rencontre avec une hauteur de 1m,47. Il se trouve donc entre les tailles le même rapport qu'entre les circonférences, avec un faible écart en faveur du bœuf le plus petit, qui accuse en même temps une légère supériorité dans le rendement. Le bœuf le plus ample de poitrine est d'ailleurs celui qui donne le poids vif le plus élevé (nº 10).

Les trois bœufs nos 12, 13 et 14, âgés de cinq à six ans, accusent des rendements nets très-voisins, pour ne pas dire identiques. S'il fallait attacher de l'importance aux faibles différences qu'ils présentent, on les trouverait en rapport avec l'ampleur thoracique, compensation faite des inégalités de taille, et le bœuf nº 14 se placerait à la tête pour le rendement comme pour le développement de la poitrine. Le bœuf nº 12, qui a la plus

grande circonférence absolue, est aussi celui qui donne le plus grand poids vif.

Parmi les onze bœufs âgés de 6 ans (nos 15 à 25), le no 15 se distingue par un rendement de 67.8 pour cent du poids vif, sensiblement supérieur à celui des autres bœufs ; il mesure en même temps la circonférence la plus grande et donne le poids vif le plus fort. Les deux rendements les plus élevés ensuite sont ceux des deux bœufs nos 16 et 17, qui se placent aussi en seconde ligne pour la grandeur de leur circonférence pectorale. En suivant les faits au tableau, on peut ainsi remarquer qu'il y a accord, dans le sens général jusqu'ici constaté, entre les nombres qui expriment le rendement net et ceux qui donnent l'ampleur de la région thoracique : les nos 19, 20 et 21, d'une part, les autres numéros (22 à 25), de l'autre, forment comme deux petits groupes où ces nombres se correspondent assez exactement. On ne rencontrerait une légère exception que pour le bœuf no 18, si l'on prétendait trouver une rigueur mathématique et une constance invariable dans des phénomènes qui ne les comportent pas.

Tous deux âgés de sept ans, les nos 26 et 27 prennent, pour le rendement net, un rang correspondant à la circonférence de leur poitrine.

Au tableau de la race *limousine* (tableau H) figurent sept animaux. Des quatre bœufs nos 1, 2, 3 et 4, âgés de trois ans cinq mois à quatre ans, le premier donne le rendement le plus élevé ; il est le plus jeune, et sa circonférence thoracique rapportée à sa taille est proportionnellement plus grande que celle des autres bœufs. Sa forme est aussi plus régulièrement suivie, comme le montre la faible différence entre ses deux circonférences droite et oblique. Les trois autres bœufs se suivent dans un ordre qui correspond à la fois et au rendement net et à l'ampleur de la poitrine.

Pour les trois bœufs nos 5, 6 et 7, âgés de quatre ans huit mois à cinq ans, le poids vif suit le développement de la poitrine, et le rendement en poids net, bien que les différences soient légères, obéit aux mêmes principes généraux dont nous avons vu tant de fois la confirmation.

Le tableau relatif à la race de *Salers* (tableau H) donne des renseignements sur neuf bœufs. Parmi les cinq premiers, âgés de

TABLEAU H. — *Renseignements empruntés aux Comptes rendus des Concours publics.*

RACE.	Numéro d'ordre.	AGE.	CIRCONFÉRENCE THORACIQUE droite.	CIRCONFÉRENCE THORACIQUE oblique.	CIRCONFÉRENCE THORACIQUE moyenne.	TAILLE AU GARROT.	LONGUEUR de la nuque à la queue.	POIDS VIF.	POIDS NET.	RENDEMENT en poids net pour 100 de poids vif.
		ans mois jours	m.	m.	m.	m.	m.	k.	k.	
Bœufs Limousins...	1	3 5	2.50	2.65	2.575	1.47	2.30	805	557	69.193
	2	3 10	2.63	2.90	2.765	1.58	2.45	1030	695	67.476
	3	3 11	2.65	2.70	2.675	1.54	2.56	910	575	63.187
	4	4	2.70	2.74	2.720	1.53	2.20	950	625.5	65.842
	5	4 8	2.65	2.70	2.675	1.60	2.49	940	600	63.830
	6	5	2.60	2.80	2.700	1.55	2.58	950	617	64.947
	7	5	2.55	2.60	2.575	1.54	2.27	905	588	64.972
Bœufs de Salers...	1	5	2.65	2.90	2.775	1.63	2.65	1040	676	65.000
	2	5	2.58	2.75	2.665	1.60	»	1065	690	64.789
	3	5	2.60	2.65	2.625	1.52	2.25	990	695	70.202
	4	5	2.49	2.65	2.570	1.51	2.30	875	589	67.314
	5	5 à 6	2.60	2.80	2.700	1.60	2.50	970	635	65.464
	6	6	2.50	2.70	2.600	1.56	»	857	557	64.994
	7	6	2.47	2.63	2.550	1.56	2.22	945	640	67.725
	8	6	2.45	2.61	2.530	1.59	»	931	582	62.513
	9	6	2.43	2.55	2.490	1.69	2.22	915	593.5	64.863
Bœufs Durham-Manceaux.	1	2 5 15	2.30	2.40	2.350	1.32	2.34	740	493	66.622
	2	2 8	2.26	2.46	2.360	1.44	2.42	715	474	66.294
	3	2 10	2.40	2.65	2.525	1.50	2.15	790	474	60.000
	4	2 10	2.38	2.55	2.465	1.46	2.35	855	558	65.263
	5	3 1	2.45	2.64	2.545	1.46	2.10	800	530	66.250
	6	3 3	2.67	2.82	2.745	1.60	2.50	1005	690	68.657
	7	3 4	2.36	2.49	2.425	1.48	2.15	770	536	69.610
	8	3 5	2.56	2.74	2.650	1.49	2.45	950	631	66.421
	9	3 6	2.40	2.57	2.485	1.40	2.17	832	548	65.865
	10	3 8	2.70	2.71	2.705	1.50	2.42	870	574	65.977
	11	3 8	2.46	2.60	2.530	1.45	2.40	830	545	65.663
	12	3 8	2.28	2.48	2.380	1.43	2.10	734	477	64.986
	13	3 9	2.50	2.70	2.600	1.48	2.45	857	587.5	68.553
	14	3 10	2.45	2.60	2.525	1.55	»	830	522	62.892
	15	3 10 15	2.68	2.95	2.815	1.55	2.45	980	650	66.327
	16	3 11	2.53	2.67	2.600	1.45	»	875	570	65.143
	17	3 11	2.56	2.60	2.580	1.53	2.35	1030	715	69.417
	18	4 2	2.80	2.94	2.870	1.54	2.40	1055	750	71.090
	19	4 2	2.64	2.85	2.745	1.55	2.40	1075	712	66.233
	20	4 3	2.40	2.55	2.475	1.49	»	890	575.5	64.663
	21	4 6	2.56	2.75	2.655	1.58	2.50	935	620	66.310
	22	4 11	2.48	2 68	2 580	1.53	2.25	945	609.5	64.497

cinq ans à cinq ans et demi, le rendement le plus élevé, montant à plus de 70 pour cent, est donné par le n° 3. Sa circonférence thoracique n'est pas la plus grande d'une manière absolue, puisqu'il n'a au-dessous de lui, sous ce rapport, qu'un seul des bœufs que nous lui comparons; mais sa taille reste de neuf centimètres, en moyenne, au-dessous de la taille des autres bœufs, et sa poitrine prend ainsi une plus grande ampleur proportionnelle. Les autres bœufs prennent rang conformément aux mêmes relations générales entre leur rendement net et leur circonférence thoracique. Les bœufs de six ans observent aussi généralement les mêmes rapports.

Les bœufs croisés *Durham-Manceaux* sont au nombre de 22 (tableau H). En comparant entre eux les quatre premiers, âgés de deux ans et demi à deux ans et dix mois, on constate que le poids vif répond exactement à l'ampleur thoracique, et que le rendement net est plus élevé quand la taille est plus petite. Le bœuf n° 1, placé ainsi en première ligne pour le rendement en poids net, est d'ailleurs celui dont la forme est la plus régulière et la mieux suivie, comme l'indique la différence plus petite entre ses deux circonférences droite et oblique.

Des cinq bœufs n°s 5 à 9, âgés de trois ans et un mois à trois ans et demi, le n° 6 a le poids vif le plus fort; le n° 7, le poids vif le plus faible; c'est aussi chez eux que se montrent la plus grande et la plus petite circonférence thoracique; les autres se classent entre ces deux extrêmes, suivant les mêmes relations. Pour le rendement proportionnel en poids net, le n° 10 seul se place un peu au-dessus du rang que lui assignerait sa circonférence thoracique; encore faut-il remarquer que les deux mesures droite et oblique indiquent chez lui une plus grande régularité de forme. Quant aux autres, leur rendement net reste assez en harmonie avec leur ampleur de poitrine.

Si nous comparons entre eux les huit bœufs n°s 10 à 17, âgés de trois ans huit mois à trois ans onze mois, nous constatons d'abord que le poids vif répond au développement de la région thoracique; nous remarquons, en outre, que les circonférences les plus grandes, compensation faite de la taille, sont celles des bœufs n°s 13 et 15, dont les rendements nets sont aussi les plus élevés, en exceptant toutefois celui du bœuf n° 17, dont l'ampleur thoracique est un peu plus faible que ne le comporterait

sa taille. D'autre part, les deux rendements les plus bas sont ceux des bœufs nos 12 et 14, qui accusent aussi la circonférence la plus petite. Entre les deux bœufs nos 14 et 15, qui ont la même taille, la supériorité pour le rendement net appartient au bœuf no 15, dont la poitrine est la plus développée.

Parmi les cinq derniers bœufs, âgés de quatre ans et deux mois à quatre ans onze mois, les poids vifs les plus élevés s'observent chez les animaux dont la poitrine est la plus ample, et les poids vifs les plus faibles chez ceux dont la circonférence thoracique est la plus petite. Quant au rapport du poids net au poids vif, le bœuf no 18 se distingue par un rendement exceptionnel qui s'élève jusqu'à 71 pour cent; il présente aussi un développement thoracique rare, le plus grand de tous ceux qui se trouvent mesurés au tableau. Après lui, pour le rendement comme pour la circonférence de la poitrine, se rangent les deux bœufs nos 19 et 21. Il n'est pas sans intérêt de remarquer que le premier de ces deux bœufs comparé au bœuf no 18, dont la supériorité est si nettement indiquée, a le même âge que lui, une longueur de corps absolument semblable, une taille plus haute d'un centimètre seulement, mais une circonférence thoracique de $0^{m},125$ plus petite; cette grande différence dans la mesure de la poitrine correspond à une différence de 5 pour cent en moins dans le rendement net. C'est le sens des chiffres et non leur valeur numérique qu'il importe d'apprécier : le rapport intime entre le développement thoracique et le rendement net pourrait difficilement être mieux mis en évidence que par cet exemple. Au reste, tous les bœufs de cette dernière section se classent d'une manière absolument concordante et pour le rendement relatif en poids net et pour le développement de la région thoracique : ils suivent même dans ce classement une rigueur qu'on ne peut espérer de rencontrer souvent dans de telles études, parce qu'elle n'est guère de l'essence même des phénomènes dont les êtres organisés sont le siége.

Cette seconde série d'épreuves confirme donc les conséquences que j'avais tirées de la première; elle donne à celle-ci l'appui d'un plus grand nombre de faits concourant à une même démonstration.

On doit donc considérer comme fondée, pour l'espèce bovine,

cette opinion universellement admise par les éleveurs et par tous ceux qui se sont faits l'écho de la pratique, d'après laquelle la valeur des animaux comme utilisateurs de leur ration et comme producteurs de viande est liée au développement de la région thoracique. Mais les observations dont je viens de rendre compte permettent, comme j'ai déjà pu le faire remarquer, de préciser ce que cette opinion a de vague; elles conduisent à quatre propositions qui servent de conclusions à la première partie de ce travail :

1° *A condition égale, les bœufs donnent généralement un poids vif d'autant plus grand que leur poitrine est absolument plus ample, indépendamment des autres dimensions du corps, longueur et hauteur.*

2° *Le rendement des bœufs en poids net est d'autant plus élevé par rapport au poids vif que la taille est moins haute, que le sternum est plus rapproché de terre, que les extrémités sont plus courtes, si, en même temps, la circonférence de la poitrine est ample, la région thoracique régulièrement suivie, sans étranglement derrière les épaules.*

3° *Ces conditions de conformation, favorables au rendement en poids net, sont ordinairement accompagnées d'un développement plus considérable du tronc en longueur.*

4° *De ces propositions en découle nécessairement une dernière, c'est que le poids vif et le rendement net par rapport à ce poids sont ensemble plus élevés, quand à l'ampleur de la région thoracique, s'ajoutent la longueur du tronc, la régularité et le suivi des formes, l'abaissement de la taille et la réduction des membres.*

Si l'observation ne devait pas précéder toute théorie, il semble qu'on aurait pu, à l'aide des considérations géométriques les plus simples, prévoir ces résultats. On peut, du moins, après constatation des faits, s'en rendre raison, en partie, par les relations qui existent entre les dimensions principales de l'animal.

Le corps du bœuf, tronc et membres, peut, en effet, être comparé à un cylindre supporté par les extrémités. Dans ce cylindre, la circonférence thoracique est la mesure de la circonférence du cercle qui sert de base; la longueur du tronc donne la hauteur. Si la circonférence de la base augmente, il est clair que le volume du corps s'accroît, et comme, ici, le rapport de la masse au volume, ce qu'on pourrait appeler la densité du bœuf,

est sensiblement constante, le poids vif de l'animal doit devenir plus grand.

Si, en même temps que la forme cylindrique se régularise au point de devenir presque géométrique, et que la circonférence de la base s'agrandit, les extrémités se réduisent, c'est-à-dire si la masse du tronc, qui donne le rendement net, gagne en poids tout ce que perdent les parties qui constituent les issues, il est évident que le rapport du poids net au poids vif s'élève.

Si, enfin, les dimensions du cylindre se sont augmentées en tout sens, et si les parties formant issues ont diminué, la masse est alors considérable, en même temps que le rendement net est fort élevé par rapport au poids vif.

On comprend comment, en se laissant guider par des considérations analogues, on a pu chercher à prévoir le rendement des animaux d'après leurs dimensions, et à passer de leur mesure à leur poids. C'est ainsi qu'ont été imaginées en Allemagne, en Angleterre, en Belgique, diverses méthodes pour arriver à déterminer le poids vif ou le poids net, soit en appliquant la formule de la solidité du cylindre, soit en ne mesurant qu'une dimension, la circonférence de la poitrine, et en multipliant les résultats trouvés par des coefficients appropriés.

Les conséquence auxquelles conduit l'étude précédente justifient en principe ces tentatives, comme elles justifient l'opinion qui les a inspirées ; mais elles montrent aussi que, si les relations générales sont constantes, les rapports numériques entre les quantités ne le sont pas ; que le problème renferme trop d'inconnues, compte trop de variations résultant de l'âge, du sexe, de l'état, de l'espèce, de la race, pour qu'il puisse recevoir une solution invariable et unique. Des procédés de la nature de ceux dont il s'agit ne peuvent jamais donner autre chose que des indications approximatives et purement locales.

III

RAPPORT ENTRE LE DÉVELOPPEMENT DE LA POITRINE ET CELUI DES POUMONS.

Après avoir vérifié jusqu'à quel point l'observation confirme l'opinion générale qui place dans l'ampleur de la poitrine le caractère essentiel de la supériorité des animaux comme utilisa-

teurs de leur ration, je dois apprécier la valeur des explications théoriques qu'on a données de cette supériorité rattachée à ce caractère.

Weckherlin, un des agronomes allemands qui ont le plus profondément étudié le bétail, en passant en revue les caractères généraux qui indiquent les meilleurs animaux de l'espèce bovine, parle de la cage thoracique en ces termes : « La bonne conformation de cette partie est de la plus grande importance... Une cage thoracique étroite, et, par conséquent, de petits poumons sont cause de l'insuccès des animaux, même dans les meilleures conditions ; les animaux qui présentent ce défaut s'assimilent mal leur nourriture et ont des prédispositions organiques à certaines maladies [1]. »

David Low exprime la même opinion et la développe : « Ces facultés (croître vite et engraisser facilement) semblent dépendre principalement des forces digestives de l'animal, et les caractères extérieurs qui les indiquent sont une poitrine large pour contenir les organes respiratoires, et un corps ample pour contenir l'estomac et autres viscères servant à la digestion. On peut induire cela de l'expérience; car, dans tous les cas, on voit que la faculté d'engraisser facilement s'allie avec une poitrine large et un corps rond... Ainsi, lorsqu'on veut avoir un animal ayant des dispositions à s'engraisser, il faut que sa poitrine soit large et ses côtes bien arquées [2]. »

Dans la traduction, donnée par les *Annales de Roville*, d'un article de l'*Encyclopédie de Loudon* où se trouvent résumés les résultats d'expériences dues à l'habile chirurgien Henry Cline, on trouve ces phrases : « Les poumons sont de la première importance; c'est de leur volume et de leur état sain que dépendent surtout la force et la santé des animaux. La faculté de convertir les aliments en nourriture est proportionnelle à leur volume; un animal pourvu de forts poumons pourra convertir un poids donné d'aliments en une plus grande quantité de nourriture qu'un autre qui aura de petits poumons, et il sera, par

1. Weckherlin. *Die landwirthschaftliche Thierproduction*. T. II; p. 31. Stuttgart, 1851.

2. David Low. *Éléments d'agriculture pratique*; traduct. Lainé. T. II; p. 239. Paris. 1838.

conséquent, plus facile à engraisser. La forme et la grandeur du thorax indiquent le volume du poumon. » « La faculté de convertir un poids donné d'aliments en une quantité plus ou moins grande de nourriture dépend du volume des poumons qui sont eux-mêmes intimement liés au système digestif[1]. »

John Sinclair, en résumant aussi la doctrine d'Henry Cline sur les relations des formes extérieures avec la structure interne, dit : « Le principal objet auquel on doit faire attention dans un animal, ce sont les poumons, car c'est de leur volume et de leur état sain que dépendent principalement la vigueur et la santé. Le volume des poumons est indiqué extérieurement par la forme et le volume du coffre, principalement par sa largeur[2]. »

Nos auteurs ont émis les mêmes opinions. Rigot, un de nos professeurs d'anatomie et de physiologie vétérinaires, a écrit la phrase suivante : « La capacité de la poitrine est toujours proportionnelle au volume des poumons, et un poumon volumineux, se rencontrant constamment avec un appareil musculaire doué d'une grande énergie, il s'ensuit que l'ampleur du thorax est le cachet non équivoque d'une constitution vigoureuse[3]. »

M. Magne, le consciencieux auteur de plusieurs ouvrages d'agriculture et d'hygiène vétérinaire, tout en admettant qu'il n'y a, pour les aptitudes diverses dont peuvent être doués les animaux, aucune disposition anatomique essentielle, signale pourtant, parmi les caractères à rechercher dans les reproducteurs dont on attend des bœufs de boucherie, un grand développement du train postérieur et beaucoup de légèreté dans l'avant-main. Sans doute, ce dernier caractère n'implique pas, dans l'esprit de l'auteur, l'étroitesse de la région thoracique, car, dans l'ensemble des caractères qu'il demande pour le bœuf de travail, pour la vache laitière et pour le bœuf de boucherie, il place en première ligne une poitrine ample, correspondant à une bonne respiration. Il ajoute même : « Tous les auteurs considèrent avec raison une poitrine

1. *Annales agricoles de Roville*, t. IV, p. 362 et suiv. Paris, 1828.
2. John Sinclair. *L'agriculture pratique et raisonnée*. Traduct. de M. de Dombasles, t. I, p. 176. Paris, 1825.
3. Rigot. *Maison rustique*, t. II, p. 182. Paris, 1840.

ample comme le signe d'une grande aptitude à l'engraissement[1]. »

M. Delafond, l'honorable directeur de l'École vétérinaire d'Alfort, a été beaucoup plus explicite, et a donné une interprétation des caractères extérieurs qu'il admet comme signes de la supériorité des animaux. Je citerai seulement les passages où il fournit cette explication, en supprimant les considérations dans lesquelles il entre : « En même temps que la poitrine se développe sous l'influence d'une bonne alimentation, le poumon que cette cavité renferme acquiert de l'ampleur, la respiration est plus grande, plus complète, le sang mieux animalisé : conditions d'où résultent la bonne constitution, la force, la rusticité de l'animal, et le pouvoir d'assimiler une grande somme de sucs nourriciers destinés à former une solide machine animale qui, plus tard, donnera beaucoup de viande et fabriquera beaucoup de graisse »... « La voûte très-cintrée formée par les arceaux costeaux donne une poitrine plus vaste et une respiration plus grande qui contribue puissamment à la santé de l'animal et à sa disposition à l'engraissement. » ... « Un animal qui présentera une telle conformation de la poitrine et du ventre se nourrira bien, et réclamera une moins grande quantité d'aliments pour prendre de l'accroissement et parvenir à une maturité précoce. Chez lui, les digestions seront faciles, profitables; sa respiration, toujours grande et libre, avant, pendant comme après le repas, animalisant complétement les matériaux de la digestion, donnera au sang les qualités qui lui sont indispensables pour servir à l'accroissement des organes, à la formation de la chair et de la graisse[2]. »

Je pourrais multiplier beaucoup les citations; la forme varierait peu, le fond ne changerait pas. A l'exception de quelques théories hasardées par des écrivains complétement étrangers aux connaissances anatomiques et physiologiques, toutes les opinions formulées se réduisent, en définitive, à une seule, pour laquelle il est aussi difficile de trouver une origine, que de savoir sur quels faits d'observation elle se fonde. Adoptée comme vrai-

1. Magne. *Hygiène vétérinaire appliquée.* 2e édit., t. II, p. 7-12, 17. Paris, 1857.

2. Delafond. *Bétail de la Nièvre,* p. 201-206. Paris, 1849.

semblable, et reproduite par tous ceux qui, de près ou de loin, se sont occupés du bétail, cette opinion peut se résumer ainsi : l'ampleur de la poitrine est la mesure du volume des poumons, et, par suite, de l'intensité de la respiration, considérée elle-même comme le signe d'une bonne constitution, d'une assimilation facile et économique, d'une grande aptitude à prendre du poids et de la graisse.

S'il ne s'agissait, pour les auteurs que je cite comme pour ceux que je ne cite pas, que d'indiquer la nécessité d'un développement convenable de la poitrine pour la bonne santé et la bonne constitution des animaux, je n'aurais pas à examiner la valeur de cette opinion. Il est constant, en effet, que tous les animaux, quelle que soit d'ailleurs leur destination spéciale, doivent posséder un certain ensemble de caractères fondamentaux, dans les données et les limites du plan d'organisation qui les distingue, et que, parmi ces caractères, il faut placer au premier rang ceux qui sont liés à l'énergie générale des fonctions respiratoires et digestives. Sur ce point il ne peut y avoir ni discussion, ni doute. Avant de devenir l'objet des soins et des spéculations de la zoo-*technie*, les animaux doivent se bien porter, être bien constitués et ne pas laisser craindre des maladies ultérieures.

Mais la théorie qu'on professe ne s'arrête pas à cette indication générale d'une condition essentielle de tout organisme bien constitué; elle établit une relation nécessaire entre le développement de la région thoracique et celui des poumons; elle admet que les poumons sont d'autant plus volumineux que la poitrine est plus ample; à cette ampleur de la région thoracique et à ce volume des poumons, elle rattache, comme un effet à sa cause, l'énergie fonctionnelle des animaux : l'activité de leur respiration, la richesse de leur sang, la puissance de leur assimilation, leur valeur économique comme consommateurs, et comme producteurs de graisse et de viande.

C'est cette théorie qu'il faut juger.

Pour le faire, la question capitale à résoudre expérimentalement c'est de savoir si le développement des organes pulmonaires correspond, en effet, au développement de la région thoracique; c'est là la base sur laquelle s'échafaudent ensuite les conséquences physiologiques.

Afin d'arriver à établir ce point fondamental, j'ai pesé les pou-

mons des 102 bœufs de races diverses, qui ont fait l'objet des observations précédentes. La nature et la densité des tissus étant sensiblement identiques pour ces animaux, les poids correspondent aux volumes et donnent même le moyen le moins trompeur pour les représenter. Les pesées ont eu lieu aussitôt après l'abatage des animaux. J'en indique les résultats au tableau où sont consignées toutes les données relatives à chaque bœuf (tableaux A, B et C), et j'ajoute même le poids du cœur, à titre de simple renseignement dont je n'aurai pas à tirer parti en ce moment.

Les lobes pulmonaires et la masse du cœur ont été pesés après la section des bronches et des troncs vasculaires à leur entrée dans ces viscères. Je n'ai point enlevé la graisse déposée à la base des oreillettes et dans les sillons des ventricules.

En rapprochant les deux colonnes qui donnent la mesure de la circonférence thoracique et le poids des poumons (tableaux A, B et C), on remarque bientôt qu'il n'existe aucun rapport constant entre ces deux quantités. Le désaccord devient frappant quand on prend le poids des poumons pour des circonférences égales, comme le fait le tableau suivant :

TABLEAU I. — *Poids des Poumons pour des Bœufs de même Circonférence thoracique.*

BŒUFS DE RACES FRANÇAISES.									BŒUFS CROISÉS.		
Numéro d'ordre au tableau A.	Circonférence thoracique.	Poids des poumons.	Numéro d'ordre au tableau A.	Circonférence thoracique.	Poids des poumons.	Numéro d'ordre au tableau A.	Circonférence thoracique.	Poids des poumons.	Numéro d'ordre au tableau C.	Circonférence thoracique.	Poids des poumons.
	m.	k.		m.	k.		m.	k.		m.	k.
15	2.46	3.025	12	2.525	4.202	38	2.705	3.028	29	2.505	3.169
6	2.46	4.159	9	2.525	5.052	25	2.705	4.358	22	2.505	3.512
8	2.485	4.352	45	2.53	4.865	49	2.745	4.317	18	2.635	4.445
43	2.485	4.876	28	2.53	4.876	3	2.745	5.143	28	2.635	4.800
14	2.50	4.385	32	2.59	4.195	17	2.75	4.697	26	2.65	4.052
50	2.50	4.758	47	2.59	4.454	48	2.75	4.707	15	2.65	4.117
13	2.515	4.008	30	2.70	4.342	44	2.78	5.234	16	2.65	3.670
42	2.515	6.209	21	2.70	4.507	4	2.78	5.334			
			41	2.70	6.058						

On voit qu'entre deux bœufs qui ont identiquement la même

circonférence thoracique, la différence dans le poids des poumons peut être de dix grammes, s'élever à plus de cent, deux cents, trois cents, quatre cents, cinq cents, huit cents grammes, dépasser un kilogramme, comme on l'observe trois fois dans les quinze exemples cités, et même deux kilogrammes, comme cela a lieu pour les deux bœufs dont la circonférence thoracique est de 2m,515. Dans ce dernier cas, la différence du poids des poumons, du plus faible au plus fort, est de plus de 54 p. 100.

On arrive aux mêmes conséquences en variant le mode de comparaison. Ainsi, parmi les 52 bœufs de races françaises, la circonférence thoracique la plus petite est de 2m,29 (no 52), la plus grande est de 2m,97 (no 2). Si le poids des poumons était en rapport avec le volume de la poitrine, aux mesures extrêmes des circonférences devraient répondre les poids extrêmes des poumons; c'est ce qui n'a pas lieu. Le poids des poumons qui correspond à la plus petite circonférence est de 4k,057; celui qui correspond à la plus grande est de 5k,848; or, les poids extrêmes sont 2k,200 et 6k,598, différant du simple au triple.

Pour les 19 bœufs de races britanniques, les extrêmes de circonférences thoraciques sont 2m,30 (no 17) et 3m,035 (no 9), auxquelles correspondent réciproquement des poids de poumons de 3k et de 4k,771, bien que les extrêmes en poids soient 2k,357 et 6k,411, qui diffèrent presque encore du simple au triple.

Parmi les 31 bœufs croisés, la plus faible circonférence thoracique est de 2m,275 (no 31); la plus forte est de 2m,965 (no 14); les poids de poumons correspondants sont 4k,020 et 4k,019, deux poids presque égaux pour les deux plus grandes inégalités de circonférence pectorale, et alors que les poids extrêmes sont 2k,208 et 4k,800, différant plus que du simple au double.

Si l'on compare les circonférences thoraciques moyennes et les poids moyens des poumons, dans chacune des trois grandes catégories, on trouve:

	Circonférence thoracique moyenne.	Poids moyen des poumons.
Pour les bœufs de races françaises. . .	2m,613	4k,662
Pour les bœufs de races britanniques. .	2 ,660	4 ,038
Pour les bœufs croisés.	2 ,582	3 ,759

Pas plus que les autres, ces chiffres ne permettent de saisir la relation que la théorie admet comme générale entre les deux

quantités comparées. Ils indiquent même qu'un poids plus faible de poumons peut correspondre à une circonférence thoracique plus grande et *vice versâ*, comme on peut d'ailleurs en constater maint exemple dans les diverses séries de bœufs, et comme le montrent les précédents tableaux.

Cette relation inverse entre le poids des poumons et la circonférence thoracique s'observe encore quand on partage en deux moitiés égales les 52 bœufs de races françaises, la première moitié comprenant les 26 bœufs de circonférence moindre, et la seconde, les 26 bœufs de circonférence plus grande. On trouve alors que les premiers mesurent, en moyenne par tête, 2m,504 de circonférence, et que le poids moyen de leurs poumons est de 4k,762, tandis que la circonférence moyenne des seconds est de 2m,721, et que leurs poumons pèsent en moyenne 4k,576; le poids le plus élevé se rencontrant avec la circonférence la plus faible, et le poids le plus faible avec la circonférence la plus grande.

On peut déjà pressentir, d'après cet aperçu, que le développement de la poitrine ne donne pas la mesure du développement des organes de la respiration. On est même conduit à considérer comme un fait très-fréquent la coïncidence du plus faible développement des poumons avec la plus grande circonférence thoracique, et réciproquement.

Ces conséquences d'un examen sommaire des faits les plus généraux, deviennent plus rigoureuses quand la comparaison devient plus précise et ne confond pas ensemble toutes les races, ni surtout tous les âges.

De même que l'animal ne prend pas, dès les premiers temps de sa vie, le poids vif, ni l'ampleur thoracique qu'il présentera à une période plus avancée de son développement, il ne possède pas non plus, tout d'abord, le poids de poumons qu'il accusera plus tard. Les poumons peuvent gagner en poids, comme le thorax en ampleur, à mesure que l'animal se forme et tant qu'il acquiert. De sorte que si l'on compare un animal à lui-même, à deux phases différentes de son existence, ou deux animaux d'âges différents l'un à l'autre, on pourra trouver que l'ampleur du thorax et le volume des poumons sont plus grands chez l'adulte que chez le jeune. Dans ces termes généraux, il est permis de dire que les organes pulmonaires et la région thoracique ont

un mouvement commun de développement. Mais ce n'est pas là le sens que la théorie dont nous voulons apprécier la valeur attache au rapport de volume qu'elle admet comme rigoureux et constant entre les poumons et la poitrine. Suivant elle, comme on l'a déjà vu, pour des animaux se trouvant dans des conditions comparables, l'ampleur thoracique traduirait exactement le volume des poumons; la supériorité physiologique appartiendrait à l'animal dont la poitrine est la plus vaste, et cette supériorité s'expliquerait par un développement plus grand des organes respiratoires.

Pour vérifier s'il en est ainsi, il faut donc comparer entre eux des animaux se trouvant à des âges voisins, les plus jeunes aux plus jeunes, les plus âgés aux plus âgés, afin de ne pas rapporter à une cause ce qui dépendrait d'une autre.

Dans cette comparaison, c'est moins le volume absolu des poumons qu'il faut rapprocher du volume du thorax, que le volume des poumons par rapport à celui du corps, ou le poids des poumons relativement au poids du corps. Si, en effet, l'ampleur thoracique indique le volume du poumon, et si le développement des poumons est lui-même la mesure de la puissance physiologique de l'animal, il faut que ces organes soient d'autant plus volumineux, c'est-à-dire d'autant plus puissants, que la masse à nourrir est plus grande; il faut que la cause soit proportionnée aux effets qu'on lui attribue.

Le tableau suivant (tabl. J) réunit tous les éléments d'appréciation rapportés à des groupes et à des sections absolument établis comme ils l'ont été précédemment au tableau D.

Si l'on jette d'abord les yeux sur les groupes où les bœufs sont classés d'après leur âge dans chaque grande catégorie, on voit, comme je l'annonçais tout à l'heure, que le poids vif, la circonférence thoracique et le poids des poumons augmentent généralement à mesure que les animaux avancent dans leur développement. Il s'en faut pourtant que ces trois quantités croissent l'une comme l'autre, en suivant une même échelle, ainsi que le prouvent à la fois les faits relatifs aux groupes, et ceux qui se rapportent aux sections. C'est entre la circonférence de la poitrine et le poids vif seulement que la correspondance reste constante, comme je l'ai montré plus haut. Quant au poids des poumons, s'il augmente aussi, d'une manière générale, à mesure

TABLEAU J. — *Comparaison des Bœufs de différents âges (Groupes) et d'âges voisins (Sections) : Rapport entre le Poids des Poumons, la Circonférence thoracique et le Poids vif.*

CATÉGORIE.	AGE DES BŒUFS dans chaque groupe.	NOMBRE de têtes.	Circonférence thoracique moyenne.	POIDS moyen des POUMONS.	POIDS vif moyen.	RAPPORT du poids des POUMONS à 100 de poids vif.	SECTIONS dans chaque groupe.	NOMBRE de têtes.	Circonférence thoracique moyenne.	POIDS moyen des POUMONS.	POIDS vif moyen.	RAPPORT du poids des POUMONS à 100 de poids vif.
			m.	k.	k.				m.	k.	k.	
Bœufs de races françaises.	Au-dessous de 4 ans.	9	2.528	4.346	863	0.503	Les plus petites circonf. thor.	5	2.454	3.865	797	0.485
							Les plus grandes circonf. thor.	4	2.621	4.948	946	0.523
	de 4 à 5 ans......	7	2.618	4.376	936	0.468	Les plus petites circonf. thor.	4	2.569	4.980	928	0.537
							Les plus grandes circonf. thor.	3	2.683	3.571	947	0.377
	de 5 à 6 ans......	22	2.589	4.693	921	0.510	Les plus petites circonf. thor.	11	2.486	4.781	847	0.564
							Les plus grandes circonf. thor.	11	2.693	4.604	994	0.463
	de 6 à 7 ans......	14	2.700	4.960	1029	0.483	Les plus petites circonf. thor.	7	2.633	5.053	1006	0.502
							Les plus grandes circonf. thor.	7	2.767	4.867	1052	0.463
Bœufs de races britanniques.	de 3 à 4 ans......	10	2.616	4.149	877	0.473	Les plus petites circonf. thor.	5	2.467	4.253	806	0.528
							Les plus grandes circonf. thor.	5	2.765	4.045	947	0.427
	de 4 à 6 ans......	9	2.709	3.916	1027	0.381	Les plus petites circonf. thor.	4	2.579	3 530	850	0.415
							Les plus grandes circonf. thor.	5	2.814	4.225	1168	0.362
Bœufs croisés.	de 2 à 3 ans 1/2..	10	2.452	3.401	780	0.437	Les plus petites circonf. thor.	5	2.327	3.419	685	0.499
							Les plus grandes circonf. thor.	5	2.577	3.389	874	0.388
	de 3 ans 1/2 à 4 ans.	10	2.640	3.776	894	0.423	Les plus petites circonf. thor.	5	2.489	3.546	781	0.451
							Les plus grandes circonf. thor.	5	2.770	4.005	1006	0.398
	de 4 à 7 ans......	11	2.654	4.068	951	0.428	Les plus petites circonf. thor.	5	2.613	4.213	934	0.451
							Les plus grandes circonf. thor.	6	2.688	3.917	965	0.409

que l'animal prend de l'âge, il ne suit pas du tout l'accroissement du poids vif, ni celui de la circonférence thoracique. L'examen des chiffres rapportés au tableau J pour les sections de chaque groupe le démontre suffisamment.

L'analyse de ces chiffres établit que, chez les animaux plus jeunes, le poids *absolu* des poumons est généralement plus faible que chez les animaux plus âgés; mais que le poids des poumons par rapport au poids vif, ce que j'appellerai le poids *relatif* des poumons, est constamment plus grand chez les premiers que chez les seconds. Or, comme je l'ai dit, c'est seulement en rapportant le poids des poumons à un même poids de matière vivante qu'on peut faire une comparaison rationnelle au point de vue physiologique. Les organes pulmonaires approchent donc de bonne heure de leur poids définitif, tandis que le terme d'accroissement du corps entier est plus reculé. Dans la catégorie des bœufs de races françaises, les poumons gagnent 14 pour cent en poids, de l'âge de trois ou quatre ans à celui de six à sept ans, alors que le poids vif gagne, dans le même temps, près de trente-sept pour cent, c'est-à-dire deux fois et demie plus.

Ces différences sont d'autant plus accusées que les animaux sont plus jeunes, comme cela ressort des faits que je résume au tableau suivant, et qui m'ont été fournis par l'examen de trois veaux gras, de race Normande, âgés de trois mois et demi, soumis aux mêmes observations que celles dont les bœufs ont été l'objet.

Tableau K. — *Résultats d'observation fournis par 3 veaux de race Normande.*

Numéro d'ordre.	Poids des poumons.	Poids du cœur.	Poids vif.	Poids net.	Rendement en poids net pour 100 de poids vif.	Poids du suif.	Rapport du poids des poumons à 100 de poids vif.
	k.	k.	k.	k.		k.	k.
1	1.383	1.345	210	141	67.143	9	0.658
2	1.741	1.420	245	157	64.082	10	0.711
3	1.457	1.337	195	131	67.179	10	0.747
Moyenne par tête.	1.527	1.367	217	143	66.000	9.7	0.705

On voit que le poids des poumons de ces jeunes animaux est très-élevé par rapport au poids vif. Si nous rapprochons les données de même ordre relatives aux trois bœufs de même race dont il est question au tableau A (n[os] 2, 3 et 4), et qui sont âgés de cinq à six ans, nous trouvons que chez ceux-ci le poids vif moyen par tête est de 1190 kil., que les poumons ont un poids absolu moyen de 5,442, et un poids relatif exprimé par 0,457. A l'âge de cinq à six ans, le poids des poumons n'est donc que trois fois et demie ce qu'il était à trois ou quatre mois, tandis que le poids vif est devenu cinq fois et demie plus considérable.

Ce n'est pas la valeur absolue des chiffres qui nous intéresse ici, comme je l'ai déjà fait observer, c'est seulement le sens général qu'ils nous permettent de donner aux phénomènes qu'ils traduisent; après nous avoir montré que les poumons ne suivent pas dans leur développement la même progression que le poids vif, ni que l'ampleur du thorax, ils nous apprennent que les jeunes animaux ont des poumons proportionnellement plus volumineux que les animaux plus avancés en âge.

Quant à la question de savoir si, dans des conditions comparables d'âge et de provenance, le volume des poumons est indiqué par celui de la poitrine, la comparaison deux à deux des sections formées dans chaque groupe fournit le moyen d'y répondre (tableau J).

Dans la catégorie des bœufs français, cette comparaison fait voir que le poids *absolu* des poumons est plus grand quand la circonférence thoracique est plus petite; qu'il est plus petit, quand la circonférence thoracique est plus grande. Il s'ensuit nécessairement que le poids *relatif* des poumons est plus fort quand la circonférence thoracique est plus petite; plus faible, quand la circonférence thoracique est plus grande. Les bœufs les plus jeunes présentent seuls une exception à cet ensemble de faits concordants.

Dans la catégorie des bœufs britanniques et dans celle des bœufs croisés, nous constatons aussi, par la comparaison des sections, qu'aux plus grandes circonférences thoraciques correspondent constamment les plus faibles poids *relatifs* des poumons, tandis que les poids *relatifs* les plus élevés correspondent aux plus petites circonférences thoraciques. Nous voyons même que le poids *absolu* des poumons est plus fort quand la circonférence

du thorax est plus petite; qu'il est plus faible quand cette circonférence est plus grande. Mais chacune de ces deux grandes catégories offre, sur ce dernier point, une exception.

Toutes ces relations sont clairement indiquées par les courbes de la figure 2. On voit, qu'entre la Circonférence thoracique et le Poids vif, qui restent à peu près parallèles, le poids absolu et surtout le poids relatif des Poumons prennent une marche en sens inverse.

De cet ensemble de faits me semblent résulter les conséquences suivantes :

1° *A mesure qu'il prend du développement, l'animal gagne en poids vif, sa circonférence thoracique acquiert plus d'ampleur, ses poumons prennent plus de volume; mais ces trois quantités ne suivent pas une progression parallèle.*

2° *Le poids vif et la circonférence thoracique se correspondent seuls d'une manière constante à toutes les périodes du développement des animaux.*

3° *Les poumons ne restent en rapport constant ni avec le poids vif, ni avec la circonférence thoracique; seulement, ils sont d'autant plus développés, pour un même poids vivant, que les animaux sont plus jeunes.*

4° *Pour des animaux voisins d'âge et dans des conditions générales comparables, le développement des poumons ne correspond pas à celui de la région thoracique, de manière à ce qu'on puisse prendre l'ampleur de la poitrine pour indice du volume des organes pulmonaires.*

5° *Au contraire, chez ces animaux, on trouve le plus ordinairement que le poids absolu des poumons et constamment que le poids relatif de ces mêmes organes par rapport à un même poids vif sont plus faibles quand la circonférence thoracique est plus grande; plus élevés, quand la circonférence thoracique est plus petite.*

L'observation contredit donc cette assertion, avancée et répétée sans preuve, que le développement de la poitrine donne la mesure du développement des poumons, et que les poumons sont plus volumineux chez les animaux remarquables par leur puissance assimilatrice. Elle établit même que c'est précisément chez les animaux de boucherie qui, à condition égale, donnent le gain en poids vif le plus considérable et accusent l'ampleur thoracique la plus grande, que les poumons sont le moins développés.

Cette proposition est assez importante, par sa nouveauté et

surtout au point de vue physiologique, pour qu'il ne soit pas inutile de soumettre à une contre-épreuve les faits sur lesquels elle repose.

S'il est vrai qu'il y ait généralement accord entre la circonférence thoracique et le poids vif, et que, pour une circonférence plus grande, le poids des poumons soit relativement plus faible, on devra trouver aussi que le poids relatif des poumons est plus faible quand le poids vif est plus élevé.

Pour vérifier s'il en est ainsi, je classe les bœufs par race, dans chaque catégorie, et je divise les races en deux sections quand elles comptent un nombre suffisant de têtes pour que cette division soit possible : de ces deux sections, l'une comprend les animaux les moins pesants, et l'autre, les animaux les plus pesants. Pour chaque race et pour chaque section, je cherche le poids vif moyen par tête, le poids moyen des poumons et le rapport du poids des poumons au poids vif. Le tableau L réunit tous ces éléments de comparaison ainsi groupés.

Dans la catégorie des bœufs français, douze races sont représentées; elles sont classées au tableau d'après l'ordre que leur assigne leur poids vif. En rapprochant les deux colonnes qui donnent le poids vif et le poids relatif des poumons, on voit que ce sont les races du poids vif le plus faible qui accusent le poids des poumons le plus élevé, et réciproquement. Le fait est naturellement mis le mieux en évidence par les races placées aux deux points extrêmes de la liste. Pour les bœufs les moins pesants, Breton, Aubrac, Limousin-Salers, dont le poids vif est de 650, de 775 et de 820 kilogrammes, le poids des poumons pour 100 de poids vif est de 0,624, de 0,614 et de 0,593, rapports les plus élevés et d'autant plus élevés que le poids vivant est plus bas. Pour les bœufs les plus lourds, Garonnais, Garonnais-Limousins, Normands, dont le poids vif est de 1032, de 1060 et de 1148 kilogrammes, le rapport du poids des poumons au poids vif est le plus faible, et égal à 0,479, à 0,452 et à 0,453.

Ces différences sont considérables; car, en comparant les deux poids vifs les plus forts aux deux poids vifs les plus faibles, on trouve que les premiers sont aux seconds comme 100 est à 65; tandis qu'en comparant les deux poids relatifs de poumons les plus élevés aux deux poids relatifs les plus bas, on voit que les premiers sont aux seconds comme 100 est à 73; il s'en faut donc

Tableau L. — *Comparaison des Races entre elles, et des Bœufs moins pesants aux Bœufs plus pesants dans chaque race :*

Rapport entre le Poids des Poumons et le Poids vif.

CATÉGORIE.	RACE.	Nombre de têtes.	POIDS VIF moyen par tête.	POIDS MOYEN des poumons par tête.	RAPPORT du poids des poumons à 100 de poids vif.	COMPARAISON des BOEUFS LES MOINS PESANTS aux BOEUFS LES PLUS PESANTS dans chaque race.	POIDS VIF moyen par tête.	POIDS MOYEN des poumons par tête.	RAPPORT du poids des poumons à 100 de poids vif.
			k.	k.			k.	k.	
Bœufs français.	Breton	1	650	4.057	0.624				
	Aubrac	1	775	4.758	0.614				
	Limousin-Salers	1	820	4.865	0.593				
						Un bœuf de 2 ans	605	3.501	0.579
	Choletais	7	851	4.431	0.520	Les 4 b. les moins pesants	850	4.529	0.533
						Les 2 b. les plus pesants.	978	4.700	0.481
	Comtois	1	860	4.871	0.566				
	Charolais	16	929	4.295	0.463	Les 8 b. les moins pesants	861	4.036	0.469
						Les 8 b. les plus pesants.	997	4.554	0.457
	Limousins	10	931	5.141	0.552	Les 5 b. les moins pesants	872	5.457	0.626
						Les 5 b. les plus pesants.	990	4.825	0.487
	Bourbonnais	1	950	4.876	0.513				
	Salers	4	983	4.581	0.466	Les 2 b. les moins pesants	935	4.545	0.469
						Les 2 b. les plus pesants.	1030	4.777	0.464
	Garonnais	3	1032	4.945	0.479				
	Garonnais-Limousins	3	1060	4.788	0.452				
	Normands	4	1148	5.195	0.453	Les 2 b. les moins pesants	1083	4.800	0.413
						Les 2 b. les plus pesants.	1213	5.591	0.461
Bœufs britanniques.	Devon	1	620	3.000	0.484				
	West-Highland	2	650	2.626	0.404				
	Hereford	1	990	3.643	0.368				
	Durham	12	994	4.461	0.449	Les 6 b. les moins pesants	879	4.354	0.495
						Les 6 b. les plus pesants.	1109	4.531	0.412
	Angus	2	1018	3.899	0.383				
	Durham-Angus	1	1130	3.511	0.311				
Bœufs croisés.	Ayr-Breton	1	630	4.020	0.638				
	Ayr-Durham-Breton	1	640	2.208	0.345				
	Durham-Breton	1	760	3.169	0.417				
	D.-Schwitz-Normand	5	825	3.517	0.426	Les 3 b. les moins pesants	702	2.986	0.425
						Les 2 b. les plus pesants.	960	4.313	0.449
	Durham-Normands	2	840	3.253	0.387				
	Durham-Charolais	10	883	3.924	0.445	Les 5 b. les moins pesants	772	3.752	0.486
						Les 5 b. les plus pesants.	993	4.096	0.413
						Un bœuf de 2 ans 1/2	675	3.665	0.543
	Durham-Manceaux	11	957	3.983	0.416	Les 5 b. les moins pesants	920	3.979	0.433
						Les 5 b. les plus pesants.	1051	4.051	0.385

Rapports entre la Circonférence thoracique, le Poids vif et le Poids des Poumons dans les Races Bovines.

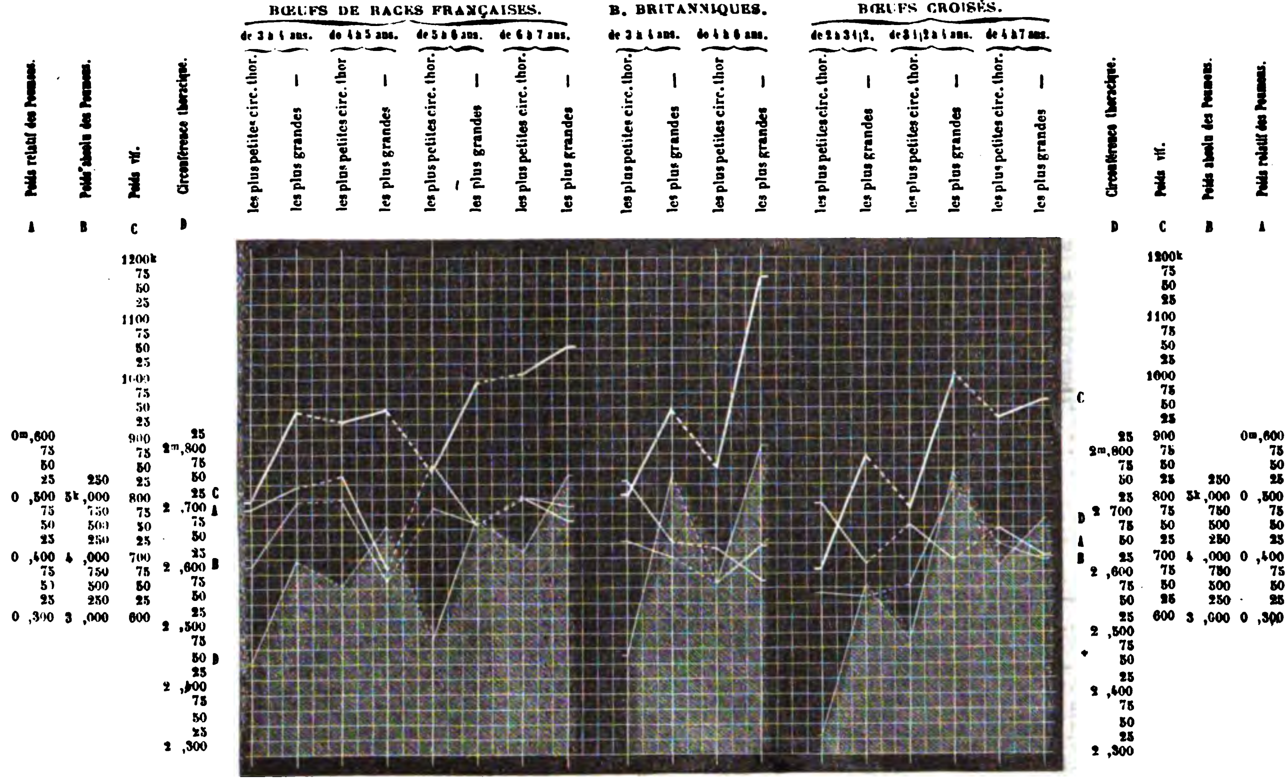


Fig. 2.

de moins de dix pour cent que le poids relatif des poumons soit ici en raison inverse du poids vif.

Entre les deux extrêmes, les autres races se classent sensiblement suivant le même principe. La race Charolaise seule présente une exception et donne un poids relatif de poumons moins élevé que son poids vif ne semblerait l'exiger. Mais s'il est vrai, comme cela résulte de la discussion des faits, que chez les animaux de boucherie les plus remarquables, le poids des poumons est plus faible relativement au poids vif, on s'expliquera l'exception que fait ici notre race Charolaise, la plus améliorée et aussi la mieux représentée des races qui figurent aux Concours de boucherie.

Dans la catégorie des six races britanniques, les faits confirment les mêmes conséquences générales. Aux deux extrémités de la série sont placés le bœuf Devon et le bœuf Durham-Angus ; le premier, du poids vif le plus faible (620 kil.), donne le poids relatif des poumons le plus élevé (0,484) ; le second, du poids vif le plus élevé (1130 kil.), donne le poids relatif des poumons le plus faible (0,311). Entre les deux extrêmes, le bœuf *Hereford* seul présente un écart un peu sensible.

Ces deux termes extrêmes de la catégorie des races britanniques correspondent assez exactement, pour le poids vif, aux deux termes extrêmes de la catégorie des races françaises ; mais il s'en faut qu'ils leur correspondent aussi pour le poids des poumons. Le poids absolu et, à plus forte raison, le poids relatif de ces organes est notablement plus faible dans les races britanniques que dans nos races indigènes ; dans la race de Durham, en particulier, que dans aucune des races françaises dont il est question au tableau. Ce fait peut s'expliquer encore, suivant les observations précédentes, par la supériorité des races britanniques comme races spéciales de boucherie. Je reviendrai plus loin sur cette comparaison entre les races des deux pays.

Parmi les bœufs croisés, le moins pesant de tous, l'Ayr-Breton, du poids de 630 kilog., donne, pour les poumons, le poids relatif le plus élevé de tous ceux de la catégorie, soit 0,638 pour cent du poids vif. Les Durham-Manceaux, dont le poids vif est le plus grand (957 kil.), ont des poumons dont le poids relatif est un des moindres par rapport au poids vivant (0,416). Toutefois les divers croisements ne se classent pas d'une manière rigoureuse-

ment conforme au principe auquel les races françaises ou britanniques semblent obéir. Mais on comprend aisément que les races britanniques, notamment la race Durham qui est la plus employée pour obtenir ces croisements, se signalant par un poids relatif de poumons plus faible comparativement à nos races indigènes, doivent modifier dans leur sens la conformation et la structure des produits de croisement, et les rapprocher d'autant plus d'elles que leur sang leur a été plus abondamment infusé ou qu'elles leur ont plus profondément imprimé leur cachet. Or, nous ne savons pas à quel degré de croisement se trouvent les bœufs que nous étudions ici, et nous n'avons aucun moyen de juger jusqu'à quelle limite ils portent l'empreinte de la race qui les a croisés. Nous pouvons supposer que les exceptions dont il s'agit sont peut-être déterminées par des différences dans l'origine; mais il nous est impossible de hasarder aucune affirmation.

De la comparaison des races dans chaque catégorie, si nous passons à la comparaison des sections formées par les races qui comptent plus d'une tête, nous constatons des faits absolument de même nature.

Ainsi, parmi les sept bœufs Choletais, un est âgé de deux ans, les six autres ont cinq ans. Le premier, que son âge très-différent force à isoler de ses congénères, est naturellement celui qui pèse le moins, c'est aussi celui dont les poumons ont le plus fort poids relatif. Des six Choletais d'âge égal, quatre ont des poids très-voisins dont les extrêmes ne s'éloignent que de 25 kilog.; ils composent la section des bœufs les moins pesants. Les deux autres forment celle des bœufs les plus lourds. On voit au tableau que le poids des poumons est d'autant plus faible, pour un même poids vif, que le poids des animaux est plus fort. Je signalerai même le bœuf le plus pesant de cette race (nº 11, tableau A; 990 kil.) comme donnant le rapport le plus faible entre le poids des poumons et le poids vif (0,463, p. 100).

Les mêmes faits se reproduisent avec la même signification pour les Charolais, les Limousins, les Salers, et j'ajouterai de suite, pour ne pas trop étendre cette analyse si facile à compléter par un coup d'œil au tableau L, pour les Durham, les Durham-Manceaux et les Durham-Charolais; partout c'est dans la section des bœufs les moins pesants comparés aux plus pesants que le

poids des poumons est plus élevé par rapport au poids vif. Il ne se présente d'exception que pour les Normands et les Durham-Schwitz-Normands; encore, pour ces derniers, voyons-nous le plus pesant des cinq bœufs (nº 5, tableau C; 1030 kilog.) accuser le plus faible poids relatif des poumons (0,391 p. 100).

Des bœufs garonnais c'est aussi le plus pesant (nº 29; 1055 kil.) qui a les poumons relativement les plus légers (0,417 p. 100). Il en est de même parmi les Durham (nº 9; 1300 kilog.; 0,367), les Angus (nº 15; 1210 kilog.; 0,320), les Durham-Normands (nº 6; 880 kil.; 0,336), les Durham-Manceaux (nºs 14 et 12; 1165 et 1060 kilog.; 0,345 et 0,329).

Les mêmes relations sont encore mises en évidence sous une autre forme par la comparaison que j'établis au tableau M.

TABLEAU M. — *Comparaison de Bœufs de même âge appartenant à diverses races françaises : — Circonférence thoracique ; Poids vif ; Rapport du Poids des Poumons au Poids vif.*

Nombre de têtes.	RACE.	AGE.	Circonférence thoracique.	Poids vif.	Poids des poumons.	Rapport du poids des poumons à 100 de poids vif.
			m.	k.	k.	
3.	Normands..........	5 à 6 ans.	2.832	1190	5.442	0.457
2.	Garonnais-Limousins	6 à 7 ans.	2.755	1090	5.085	0.467
3.	Garonnais..........	5 à 6 ans.	2.723	1032	4.945	0.479
4.	Salers..............	5 à 7 ans.	2.694	983	4.581	0.466
8.	Charolais	5 à 6 ans 1/2	2.661	971	4.351	0.448
6.	Limousins..........	5 à 6 ans.	2.598	921	5.357	0.582
6.	Choletais...........	5 ans.....	2.526	893	4.586	0.514

Dans la catégorie des bœufs français, la seule qui se prête à ce rapprochement, je prends les animaux de différentes races ayant le même âge; je mets en parallèle, pour chaque race, la circonférence thoracique, le poids vif et le poids des poumons. Comme je l'ai constaté dans la première partie de ce Mémoire et dans celle-ci, le poids vivant suit le développement de la poitrine avec une exactitude aussi rigoureuse qu'on peut l'exiger. D'autre part, comme le montre cette seconde partie de mon travail, le poids des poumons décroît, relativement au poids vif, selon que celui-ci s'élève. Il est inutile d'insister sur les détails; la discus-

sion précédente en rend raison, et le tableau met en suffisante lumière les rapports généraux qu'il importe de saisir.

De toutes ces analyses partielles, comme des observations d'ensemble, ressortent deux conclusions :

1° *Dans les races les moins pesantes, comparées aux plus lourdes, les poumons prennent un poids proportionnellement plus élevé par rapport au poids vif.*

2° *Parmi les animaux de même race, le plus faible poids relatif des poumons se rencontre chez ceux qui ont le poids vif le plus élevé; et le plus fort poids relatif des poumons chez ceux qui ont le poids vif le plus faible.*

Ces conséquences sont confirmatives et complémentaires des précédentes. Celles-ci ont établi qu'il existe un accord généralement constant entre l'ampleur de la région thoracique et le poids vif, et que le poids des poumons est relativement plus faible quand l'ampleur thoracique est plus grande; il n'est donc pas étonnant de trouver ici que le poids des poumons est proportionnellement plus faible quand le poids vif est plus élevé.

On constate, de plus, que s'il est vrai que les animaux jeunes, comparés aux plus âgés, ont des poumons relativement plus développés, cela est aussi généralement vrai pour les animaux d'un poids faible comparés à ceux d'un poids plus élevé, dans une même race, et pour les races moins pesantes comparées aux plus lourdes. La conclusion se généralise donc jusqu'à prendre l'importance d'une loi qui pourrait se formuler ainsi : — Le poids des poumons n'est pas proportionnel au poids total du corps; chez les animaux d'un faible poids vif, il est relativement plus élevé que chez les animaux plus pesants. Il semble que les animaux qui restent en retard pour le gain vif ou ceux qui s'arrêtent normalement à un poids faible reproduisent, dans leur développement, l'état transitoire des animaux jeunes, qu'ils en gardent les dispositions anatomiques et physiologiques.

Les poumons ne sont pas les seuls organes qui présentent ces relations; le cœur obéit absolument aux mêmes lois, comme le prouve le tableau Z, où les faits sont groupés tout à fait comme ils le sont aux tableaux D et J, et se rapportent aux mêmes animaux. Je me contente de les indiquer, sans y insister davantage.

TABLEAU Z. — *Comparaison des Bœufs de différents âges (Groupes) et d'âges voisins (Sections) : Rapport entre le Poids du Cœur, la Circonférence thoracique et le Poids vif.*

CATÉGORIE.	AGE DES BŒUFS dans chaque groupe.	NOMBRE de têtes.	Circonférence thoracique moyenne.	POIDS moyen du cœur.	POIDS vif moyen.	RAPPORT du poids du cœur à 100 de poids vif.	SECTIONS dans chaque groupe.	NOMBRE de têtes.	Circonférence thoracique moyenne.	POIDS moyen du cœur.	POIDS vif moyen.	RAPPORT du poids du cœur à 100 de poids vif.
			m.	k.	k.				m.	k.	k.	
Bœufs de races françaises.	Au-dessous de 4 ans	9	2.528	3.848	863	0.446	Les plus petites circonf. thor.	5	2.454	3.415	797	0.429
							Les plus grandes circonf. th.	4	2.621	4.389	946	0.464
	de 4 à 5 ans……	7	2.618	3.699	936	0.395	Les plus petites circonf. th.	4	2.569	3.889	928	0.419
							Les plus grandes circonf. th.	3	2.683	3.447	947	0.364
	de 5 à 6 ans……	22	2.589	4.114	921	0.447	Les plus petites circonf. th.	11	2.486	4.061	847	0.479
							Les plus grandes circonf. th.	11	2.693	4.166	994	0.419
	de 6 à 7 ans……	14	2.700	4.501	1029	0.437	Les plus petites circonf. th.	7	2.633	4.526	1006	0.450
							Les plus grandes circonf. th.	7	2.767	4.476	1052	0.425
Bœufs de races britanniques.	de 3 à 4 ans……	10	2.616	3.985	877	0.455	Les plus petites circonf. th.	5	2.467	3.988	806	0.495
							Les plus grandes circonf. th.	5	2.765	3.982	947	0.420
	de 4 à 6 ans……	9	2.709	3.877	1027	0.378	Les plus petites circonf. th.	4	2.579	3.406	850	0.401
							Les plus grandes circonf. th.	5	2.814	4.254	1168	0.364
Bœufs croisés.	de 2 à 3 ans 1/2…	10	2.452	3.453	780	0.443	Les plus petites circonf. th.	5	2.327	3.386	685	0.494
							Les plus grandes circonf. th.	5	2.577	3.520	874	0.403
	de 3 ans 1/2 à 4 ans.	10	2.640	3.854	894	0.431	Les plus petites circonf. th.	5	2.489	3.571	781	0.457
							Les plus grandes circonf. th.	5	2.770	4.137	1006	0.411
	de 4 à 7 ans……	11	2.651	4.008	951	0.421	Les plus petites circonf. th.	5	2.613	3.913	934	0.419
							Les plus grandes circonf. th.	6	2.688	4.087	965	0.423

Nous avons vu, en comparant les deux termes extrêmes de la catégorie des races françaises aux deux termes correspondants de la catégorie des races britanniques (tableau L), que le poids absolu et le poids relatif des poumons sont plus grands chez nos bœufs indigènes que chez ces bœufs étrangers, pour des poids vifs analogues. Il n'est pas sans intérêt, pour la question qui nous occupe ici, de savoir si ce fait est accidentel, ou s'il a quelque fondement dans la nature même des bœufs des deux provenances.

Pour éclairer ce point, j'ai pris, dans la catégorie des races françaises, dix-neuf bœufs dont le poids individuel correspond, autant que possible, au poids de chacun des dix-neuf bœufs qui composent la catégorie des races britanniques, de manière à obtenir, pour un même nombre de têtes, un poids vif total qui soit aussi le même de part et d'autre. Le tableau N présente cette double série, avec l'âge, le poids vif et le poids des poumons de chaque animal.

Le total du poids vif est le même dans l'un et l'autre groupe, puisqu'il n'y a, pour les dix-neuf bœufs de l'un comparés aux dix-neuf bœufs de l'autre, qu'une différence de 4 kilog., c'est-à-dire une différence insignifiante sur une somme de plus de 18,000 kilog. Si le poids vif est égal, il s'en faut que le poids *absolu* des poumons soit le même : il est notablement plus considérable chez les bœufs des races françaises, et dépasse le poids des poumons des bœufs britanniques de 633 grammes par tête moyenne, c'est-à-dire d'un sixième environ du poids de ces organes. Le poids absolu des poumons étant plus grand, à poids vif égal, chez les bœufs des races françaises, le poids relatif y est nécessairement plus élevé aussi. Je n'ajoute cette remarque que pour rappeler que ce sont là précisément les résultats précédemment trouvés, dans une comparaison analogue, mais moins complète.

Pour un même poids vif, les bœufs des deux séries que nous étudions n'ont pas fourni le même rendement. Les bœufs des races françaises donnent, pour 100 de poids vif, 65,008 en poids net, et 10,119 en poids de suif, tandis que les bœufs des races britanniques donnent 68,025 en poids net, et 9,747 en poids de suif. Le rendement en suif est donc peu différent, quoiqu'un peu plus élevé pour les bœufs français ; le rendement en poids

TABLEAU N. — *Comparaison des bœufs de races françaises aux bœufs de races britanniques : Rapport entre le Poids des Poumons et le Poids vif.*

BŒUFS de races françaises.	N° d'ordre au tableau A.	AGE.	POIDS VIF.	POIDS des poumons.	BŒUFS de races britanniques.	N° d'ordre au tableau B.	AGE.	POIDS VIF.	POIDS des poumons.
		ans mois jours.	k.	k.			ans mois jours.	k.	k.
Choletais	5	2 2	605	3.501	Devon	17	3	620	3.000
Breton	52	5	650	4.057	West-Highland	18	4 3	625	2.357
Aubrac	50	5	775	4.758	West-Highland	19	5 3	675	2.895
Charolais	15	3 8	800	3.025	Durham	6	3 6	780	3.750
Limousin-Salers	45	4 6	820	4.865	Durham	2	2 10	825	3.652
Charolais	12	3	830	4.202	Angus	14	3 1	825	3.922
Charolais	20	5	890	2.200	Durham	4	2 11	895	6.411
Salers	47	5 à 6	900	4.454	Durham	3	2 10	910	4.450
Limousin	35	3 11	915	6.437	Durham	1	2 9	925	3.758
Limousin	38	4 6	935	3.028	Durham	8	3 11	940	4.100
Choletais	11	5	990	4.585	Hereford	16	4 3 15	990	3.643
Charolais	23	5 à 6	1010	4.680	Durham	5	3 2	1010	4.121
Garonnais	31	6	1030	6.100	Durham	7	3 10	1036	4.325
Salers	48	6	1040	4.707	Durham	10	4 4	1100	4.159
Limousin	44	6	1120	5.234	Durham	11	5 3	1100	4.807
Garonnais-Limousin	34	6 à 7	1130	6.598	Durham	12	6	1110	5.223
Normand	3	6	1145	5.143	Durham-Angus	13	5 2	1130	3.511
Normand	4	6	1175	5.334	Angus	15	4 8	1210	3.876
Normand	2	5 3	1250	5.848	Durham	9	4	1300	4.771
TOTAL pour les 19 bœufs			18010	88.756	TOTAL pour les 19 bœufs			18006	76.731
MOYENNE par tête			947.895	4.671	MOYENNE par tête			947.684	4.038
Rapport du poids des poumons à 100 de poids vif			0.493		Rapport du poids des poumons à 100 de poids vif			0.426	

net est sensiblement plus fort en faveur des bœufs britanniques, et correspond à une plus-value de 28k,447 par tête. L'âge moyen des bœufs britanniques est de 47 mois et 12 jours; celui des bœufs français est de 59 mois et 21 jours; les premiers sont donc, en moyenne, plus jeunes d'un an.

Ainsi, quoique plus jeunes d'un an, les bœufs des races britanniques sont arrivés au même poids vif que les bœufs français; leur rendement, très-peu inférieur en suif, est notablement plus fort aux quatre quartiers. Je n'examine pas ici l'importance que peuvent avoir, pour le producteur et pour le consommateur, cette précocité plus grande et ce rendement plus élevé en matières comestibles débitables; je signale seulement, en dehors de toute appréciation économique, les faits qui établissent la supériorité des bœufs britanniques dont il est question, comme utilisateurs de leur ration, comme bêtes de boucherie, et de cette observation je rapproche immédiatement ce fait, que, chez ces bœufs, les poumons sont moins développés que chez des bœufs plus tardifs, d'un rendement moindre à l'abatage. Je suis donc ramené encore à considérer l'aptitude des animaux pour l'engraissement comme liée à un appareil respiratoire moins développé, par suite moins puissant.

Cette comparaison permet aussi d'ajouter un trait à la définition de la précocité, et de préciser, sur un point, en quoi elle consiste. Les races précoces approchent, plus rapidement que d'autres, de l'état adulte, par un rendement élevé et un engraissement parfait; j'ai montré, dans mes études sur la viande de boucherie, que ces races acquièrent réellement une maturité hâtive de la viande. Nous les voyons ici présenter le caractère qui se prononce de plus en plus à mesure que l'animal prend plus de développement: un poids de poumons relativement plus faible par rapport au poids vif. Ces races se montrent donc, par cette particularité même de leur organisation, plus tôt adultes que les races tardives, en même temps qu'elles possèdent plus tôt les aptitudes qui rendent l'engraissement facile.

De quelque manière que je groupe les faits d'observation, il en ressort toujours cette conséquence générale, que les animaux de boucherie les plus remarquables par leur poids acquis, leur engraissement, leur rendement, leur précocité, se distinguent par

une région thoracique plus grande; mais que, loin d'indiquer un volume plus considérable des poumons, cette ampleur de la poitrine correspond à un développement des organes pulmonaires souvent absolument moindre, et toujours plus faible par rapport au poids vif. Si la théorie qui prend le volume de la poitrine pour mesure du volume des poumons peut avoir sur ce point raison en partie dans les limites et avec les exceptions que les faits indiquent, elle ne trouve aucun fondement dans les faits quand elle rattache le produit plus élevé de l'assimilation, chez les animaux à vaste poitrine, à un travail respiratoire plus actif dû à un appareil plus développé. En mesurant le travail fonctionnel par le développement des organes qui l'accomplissent, on est conduit, tout au contraire, à estimer que l'activité respiratoire est moindre chez les animaux que signalent spécialement leur gain vif plus grand, leur engraissement plus facile et plus complet.

Cette conclusion est tout à fait confirmée, comme je vais le montrer, par les données expérimentales que possède la physiologie.

IV

CONCORDANCE ENTRE LES RÉSULTATS CONSTATÉS DANS CE TRAVAIL ET LES DONNÉES PHYSIOLOGIQUES.

En s'appuyant sur ce que l'on sait des actions vitales dans leur rapport avec les phénomènes respiratoires, il est difficile de comprendre comment la respiration pourrait être tout particulièrement active, c'est-à-dire la combustion physiologique tout spécialement énergique, chez des animaux où le travail de la nutrition se balance par un gain vif notable et un dépôt considérable de graisse; on serait plutôt disposé à croire que la respiration est, dans ce cas, moins intense. Ce que toutes les expériences établissent de la manière la plus certaine, relativement à l'activité respiratoire, c'est qu'elle est en connexité intime avec la puissance physiologique de l'organisme, qu'elle croît et décroît avec elle et comme elle[1]. Or, cette puissance varie avec chacun des états dans lesquels l'animal peut se trouver, avec chacune des

1. Voy. M. Edwards, *Leçons sur la Physiologie et l'Anatomie comparée*, t. II, p. 460-566. Paris, 1858.

situations dans lesquelles nous le plaçons pour en obtenir un service ou un produit. Elle n'est pas la même pour l'animal qui travaille et pour celui qui se repose, pour la femelle laitière ou nourrice, et pour le bœuf à l'engrais, pour l'adulte et pour le jeune animal qui se développe. A chaque situation correspond un ensemble de conditions physiologiques qui règlent la puissance vitale, en déterminent les effets, et sont, en quelque sorte, les conditions statiques de cette situation.

Pour l'animal à l'engrais, ces conditions, en tant qu'elles intéressent les fonctions respiratoires, sont celles qui résultent de l'état d'inaction dans lequel on tient l'animal, auquel on ne demande d'exercer ni sa force musculaire, ni ses organes de locomotion, et qui reste le plus ordinairement couché, au milieu d'un calme complet, dans la demi-obscurité de l'étable. Ce sont aussi celles qui dépendent de la nature même des bêtes d'engrais, dont le tempérament lymphatique se prononce plus ou moins, et chez lesquelles l'augmentation continue du poids du corps, l'embonpoint progressif, affaiblit l'énergie.

Les expérimentateurs ont tous reconnu ces conditions comme diminuant la puissance vitale et, par conséquent, le travail respiratoire. Soit qu'ils aient évalué directement l'activité de la respiration par le volume d'air susceptible d'entrer dans le poumon et d'en sortir, dans un temps donné[1] ; soit qu'ils l'aient appréciée par la fréquence des mouvements alternatifs de la respiration[2] ; soit qu'ils l'aient mesurée par l'intensité des phénomènes chimiques de la combustion physiologique, quantité d'oxygène absorbé et d'acide carbonique exhalé[3] ; ils ont tous constaté que la puissance respiratoire diminue pendant le repos, spécialement chez les grands mammifères[4], pendant le sommeil, pendant le calme, dans le décubitus, à l'obscurité, dans l'état d'obésité ; tandis qu'elle augmente par l'effort musculaire, violent ou faible,

1. Hutchinson, — Simon, — Albers, — Fabius, — Wintrich, — F. Arnold, — Voorhelm Schneevogt ; etc.... Voy. M. Edwards, *Leçons sur la Physiologie et l'Anatomie comparée*, t. II, p. 458.

2. Hutchinson, — Herbst, — Quételet, — Valentin, — Marcé, — Mignot, — Guy, etc..., — *ibid.*

3. Spallanzani, — Cuvier, — Dulong, — Regnault et Reiset, — Saissy, — Scharling, — etc..., — ibid.

4. Colin, *Physiologie comparée des an. domestiques*, t. II, p. 152.

continu ou momentané, par l'exercice même modéré, par la marche, pendant la station comparée à la position du coucher, sous l'influence de la lumière, d'une excitation quelconque, pour les tempéraments nerveux et impressionnables. Ces phénomènes se sont toujours manifestés dans le même sens, soit qu'on ait comparé un individu à lui-même, soit qu'on ait comparé les espèces les unes aux autres, ou même les grands groupes zoologiques entre eux [1].

Les faits d'observation pratique sont tout à fait conformes à ces résultats d'expérimentation ; ils prouvent aussi que tout ce qui provoque l'activité vitale, même ce qui inquiète ou distrait les animaux d'engrais, à l'herbage comme en stabulation, a pour effet une consommation plus grande d'aliments et un retard dans l'assimilation.

En présence d'un ensemble de données aussi concordantes, on s'étonne qu'une théorie ait pu prendre pour base la supposition d'une activité plus grande de la respiration, afin d'expliquer l'aptitude des animaux spécialement propres à l'engraissement, *alors même* qu'elle eût été fondée à croire à un développement plus grand des poumons chez ces mêmes animaux. L'hypothèse physiologique était ruinée d'avance par tous les faits acquis à la science ; l'hypothèse anatomique, soumise au contrôle de l'observation, tombe devant elle ; les expériences sur la fonction, comme les recherches sur les organes, sont d'accord pour établir que, chez les animaux dont il est question, la respiration est moins active. L'opinion contraire ne voit donc subsister ni les faits qu'elle invoquait comme cause, ni ceux qu'elle déduisait comme effets.

En comparant les races françaises aux races britanniques, j'ai montré que, chez les premières, les poumons étaient plus développés que chez les secondes, pour un poids vif égal, et j'ai rappelé que celles-ci se distinguent par une tendance plus marquée à acquérir promptement du poids et à prendre la graisse. Or, les races françaises n'arrivent à l'abattoir qu'après avoir fourni une carrière plus ou moins longue de travail ; aux races britanniques on ne demande ni travail, ni mouvement ; elles sont dès leur naissance, pour ainsi dire, placées au milieu de ces condi-

1. M. Edwards, *Leçons sur la Physiologie et l'Anatomie comparée*, t. II, p. 458.

tions que j'indiquais tout à l'heure comme atténuant la puissance respiratoire. N'est-il pas remarquable de voir que les organes de la respiration sont aussi moins volumineux chez les animaux britanniques, et ne semble-t-il pas que les habitudes fonctionnelles ont réagi sur l'organisation pour la mettre en harmonie avec elles? Les poumons correspondraient ainsi à leur activité par leur volume, en suivant la loi générale d'après laquelle l'exercice développe les organes.

D'autre part, en cherchant quel est le poids des poumons par rapport au poids vivant dans les races françaises, j'ai trouvé qu'il est plus élevé chez les bœufs d'un poids faible que chez les bœufs d'un poids considérable ; la race charolaise a accusé un rapport moins élevé encore que son poids vif ne semblerait le comporter. Par ce caractère, cette race se rapproche donc des races britanniques, et c'est aussi celle que nos éleveurs ont le plus rapprochée jusqu'ici du type le plus célèbre des animaux de boucherie. Sans attacher à ces faits l'importance qu'ils auraient s'ils étaient observés sur un plus grand nombre de têtes, il n'est peut-être pas sans intérêt de les indiquer. Outre qu'ils appuient les conséquences générales, en montrant qu'elles restent concordantes même dans les détails, ils peuvent jeter quelque jour sur l'histoire si obscure de la formation des races.

Les expériences sur les causes des variations des phénomènes respiratoires n'ont pas seulement mis hors de doute la dépendance où l'activité de la respiration se trouve par rapport à la puissance vitale de l'organisme; elles ont encore constaté un certain nombre de faits avec lesquels sont complétement d'accord ceux que m'ont fournis mes observations. Elles nous ont appris qu'il n'existe aucun lien appréciable entre l'énergie de la respiration et la circonférence du thorax, tandis qu'il y a une relation assez constante entre cette énergie et la taille des individus ; — que la puissance respiratoire n'est, en aucune facon, déterminée par la masse du corps ; — que, rapportée à un même poids, à une même somme de matière organisée, cette puissance est plus grande chez les animaux de faible poids, soit qu'on compare entre eux de petits et de grands individus de la même espèce, soit qu'on mette les petites espèces en parallèle avec les grandes; — qu'enfin cette même puissance respiratoire est plus développée

chez les animaux jeunes, qu'elle diminue par conséquent avec l'âge.

On s'explique, en partie, comment l'ampleur de la poitrine ne peut donner la mesure de la cavité thoracique, ni devenir, par suite, l'indice du volume et de l'activité des poumons. Le développement des masses musculaires autour de cette région, le dépôt de la graisse soit entre les muscles, soit dans leur épaisseur, soit surtout sous forme de panicule adipeux, varient avec les individus, avec leur état actuel, et font varier de la même façon les dimensions de cette partie du corps.

On est conduit à admettre, d'ailleurs, que le diaphragme se relève plus fortement vers la cavité thoracique, et qu'ainsi se prononce davantage un caractère distinctif du bœuf, chez lequel la courbure du diaphragme est plus forte que chez le cheval, en même temps que son insertion périphérique est portée un peu plus en avant.

Cette disposition serait favorable aux bœufs d'engrais. L'accumulation considérable de graisse autour des viscères abdominaux peut gêner plus ou moins les mouvements du diaphragme, laisser plus ou moins libre le jeu des organes essentiels de la respiration et de la circulation, menacer ainsi plus ou moins les animaux de congestions vers les organes thoraciques et cérébraux, d'accidents dont leur état même précipite la complication. L'agrandissement de la cavité abdominale préserverait de ces dangers les animaux les plus disposés à l'obésité, en rendant plus facile une partie des phénomènes de la respiration.

Quoi qu'il en soit, l'observation est venue nous prouver que le volume des poumons, comme l'intensité des phénomènes respiratoires, est loin d'être proportionnel à la circonférence thoracique, et les résultats qu'elle nous fournit servent ainsi de complément, peut-être aussi d'explication, aux constatations expérimentales de la physiologie,

Les observateurs qui ont reconnu que l'activité respiratoire augmente généralement avec la taille des individus ont vu en même temps que cet accroissement de puissance est indépendant de la longueur du tronc et du thorax [1]. J'ai été conduit à admettre, dans une des conclusions du courant de ce travail, qu'une

1. Hutchinson, *Contrib. to vital statistics* (*journal of the statistical So-*

condition favorable à un poids vif et à un rendement élevés était l'abaissement de la taille; or, comme les animaux de poids vif et de rendement élevés ont des poumons proportionnellement moins développés, les relations que j'ai constatées se trouvent confirmées par les expériences physiologiques. J'ajouterai que les auteurs d'écrits sur le bétail et les éleveurs les plus expérimentés sont à peu près d'accord pour considérer les animaux de haute stature comme des consommateurs dispendieux; et j'ai montré, dans mes Rapports sur le rendement des animaux de boucherie, que cette manière de voir est parfaitement fondée. Si la particularité organique et le fait physiologique que je rappelle ne suffisent pas pour expliquer l'infériorité de tels animaux, ils aident cependant à la comprendre, et ils ajoutent, à l'opinion de la pratique, la valeur qui appartient à une démonstration scientifique.

Mes observations conduisent encore à des résultats tout à fait en harmonie avec les données physiologiques, quand elles montrent que le poids des poumons, par rapport au poids du corps, est plus élevé chez les animaux moins pesants comparés aux plus lourds. On sait, en effet, d'après un grand nombre d'expériences prenant en considération l'intensité des phénomènes mécaniques ou celle des phénomènes chimiques de la respiration [1], que le travail respiratoire est plus actif chez les petits animaux que chez les grands, ou, pour parler plus exactement, chez des animaux d'un poids faible, comparativement avec des animaux d'un poids plus élevé. J'ai fait voir, dans mes Recherches sur l'alimentation des chevaux et sur celle des bœufs de travail [2],

ciety of London, t. VII. p. 193) et *On the capacity of the lungs* (*trans. of the medic. chir. Society*, t. XXIX, p. 157).

Simon, *Ueber die Menge der ausgeathmeten Luft.*

Voorhelm Schneevogt, *Ueber den praktischen Werth des Spirometers* (*Zeitschr. für ration. medicin*, 1854, t. V. p. 9).

1. Dulong, — Regnault et Reiset, — Treviranus, — Letellier, — Lassaigne, — Colin, — etc., voy. M. Edwards, *Leçons sur la Physiologie et l'Anatomie comparée*, t. II, p. 458.

Allibert, *Recherches expérimentales sur l'alimentation et la respiration des animaux*. Paris, 1855.

2. *Annales de l'Institut agronomique*, 1re livr. juin, 1852, p. 121.

Mémoires de la Société cent. d'agriculture, 1853, 2e partie, p. 287.

Compt. rend. de l'Acad. des sciences, t. XXXVIII, p. 962. — 29 mai 1854.

qu'il en est de même pour nos races domestiques. En évaluant en équivalents de carbone les matériaux que ces animaux recevaient avec leur ration et qui sont considérés comme plus spécialement destinés à la combustion respiratoire, j'ai trouvé que, pour 100 kilog. de poids vivant et par jour, la dépense s'élève davantage chez ceux d'un faible poids, et d'autant plus que le poids est plus faible. Ainsi,

							Mat. azotées.	Mat. équivalentes de carbone.
Les chevaux	du	poids de	400	à	450k	exigent	207gr	670gr
Id.		id.	500	à	550	id.	193	631
Les bœufs	du	poids de	600	à	650	id.	164	626
Id.		id.	700	à	750	id.	140	626
Id.		id.	750	à	780	id.	135	620

Cet accroissement d'activité dans les fonctions respiratoires, pour un même poids de substance, entre certainement pour une part dans l'augmentation de consommation alimentaire qu'on a observée chez les petits animaux comparés aux grands; les chiffres que je viens de rapporter indiquent, en effet, que les besoins quotidiens en matières azotées sont en même temps plus considérables chez les premiers que chez les seconds. On est fondé à croire qu'un refroidissement plus grand chez des animaux de moindre masse et de surface relativement plus étendue est une des causes qui contribuent à élever la consommation en élevant les pertes; mais ce serait aller beaucoup trop loin que d'attribuer la plus grande dépense physiologique totale dans l'organisme des petits animaux uniquement à l'activité plus grande de leur respiration, et de placer le principe de cette augmentation de puissance respiratoire exclusivement dans une déperdition plus rapide de la chaleur animale. Nous voyons ici que chez ces animaux les organes respiratoires sont plus développés par rapport au poids vivant, et nous trouvons là l'indice d'une énergie vitale plus grande, qui ne doit pas être oubliée quand on veut tenir compte de toutes les causes modificatrices[1].

Le dernier point sur lequel je veuille montrer la conformité des résultats que j'ai obtenus avec ceux qui ont été constatés par les expériences physiologiques regarde l'âge des animaux. On

1. Voy. la note à la fin de ce Mémoire.

sait, d'après un grand nombre de ces expériences [1], que les mouvements respiratoires diminuent de fréquence avec l'âge; que, pour des poids égaux de substance organique, les produits chimiques de la respiration sont plus abondants dans le jeune âge; qu'en un mot, l'activité respiratoire est plus grande chez le jeune animal que chez l'adulte. Il résulte aussi de mes observations que le poids des poumons est, proportionnellement au poids du corps, plus élevé chez les animaux moins avancés en âge.

L'affaiblissement de la puissance respiratoire chez l'individu plus âgé peut être expliqué, en partie, par un état plus ou moins voisin de l'obésité, dans lequel les viscères de l'abdomen, plus chargés de graisse, font obstacle au jeu du diaphragme. Il peut aussi résulter, en partie, d'une diminution dans l'élasticité des cartilages costaux, qui commence à se produire dans l'âge mûr pour se prononcer davantage dans la vieillesse. Mais il semble aussi qu'on le doit attribuer, en partie, au moindre développement des poumons relativement à la masse du corps qui a pris plus d'accroissement.

En résumé, du rapprochement entre les faits que j'ai observés et ceux que possède la science il résulte que, dans tous les cas où la physiologie constate une augmentation d'activité respiratoire liée à un déploiement plus grand d'énergie vitale, ou à des influences spéciales dépendant de la taille, du poids, de l'âge des animaux, on trouve les poumons plus développés par rapport au poids vif.

1. M. Edwards, *Leçons sur la Physiologie et l'Anatomie comparée*, p. 467, 482, 486, 563.

Colin, *Physiol. comparée des an. domestiques*, t. II, p. 152.

Quételet, *Essai de physique sociale*, t. II, p. 16. Bruxelles, 1835.

Mignot, *Rech. sur les phénom. normaux... de la respiration chez les nouveau-nés*. Thèse... Paris, 1851.

Andral et Gavarret, *Rech. sur la quantité d'ac. carbonique exhalé par les poumons* (*Ann. de chimie*, 1843, t. VIII, p. 129, 486).

V

LOIS PHYSIOLOGIQUES DU DÉVELOPPEMENT DES ANIMAUX DÉTERMINANT LEUR CONFORMATION ET LEURS APTITUDES.

S'il est vrai qu'une ampleur considérable de la région thoracique est un trait de conformation propre aux meilleurs animaux de boucherie, et si les théories qui ont prétendu rendre raison de cette conformation manquent de fondement, ne peut-on trouver une explication qui rattache, par un lien physiologique, les aptitudes des animaux de boucherie et leur caractère distinctif? J'en présenterai une qui me paraît tenir compte de tous les faits observés, n'être en contradiction avec aucun d'eux, et conduire à des applications dont la pratique a déjà reconnu l'importance.

On sait que les inégalités dans la taille d'individus de même espèce comparés entre eux résultent principalement de différences dans la longueur des membres, et que les individus de moindre stature ont souvent un tronc plus long que celui d'individus plus grands. On sait aussi que, dans l'ordre d'évolution des parties du corps, le tronc prend son développement avant les extrémités. J'ai constaté, dans ce travail, que c'est dans la région thoracique que les dimensions du tronc s'accroissent davantage.

Si l'on seconde ces tendances de la nature; si, dès le jeune âge des animaux, alors que la puissance formatrice a le plus d'énergie, et qu'elle manifeste surtout son activité dans le développement de la portion centrale de l'organisme, on fournit à cette puissance des matériaux abondants, elle les mettra en œuvre conformément aux lois qui règlent son action, et donnera tout particulièrement à la région thoracique un développement considérable.

D'ailleurs, les premiers temps de la vie sont favorables à l'accumulation de la graisse, surtout à la périphérie du corps et dans les intervalles des masses musculaires, et cette tendance, aidée d'un régime approprié, concourt encore à épaissir la région thoracique.

Une alimentation riche dès la naissance a donc cette double conséquence, d'engager le développement des animaux dans la voie qu'ouvrent elles-mêmes à l'industrie de l'homme les lois de la nature, et de favoriser l'aptitude qu'ont les animaux jeunes à produire de la graisse dans un tissu cellulaire plus abondant. La

machine animale prend ainsi une direction particulière, un tempérament propre, qui se caractérisent par la prépondérance des facultés nutritives sur les facultés locomotrices, par l'exagération des forces assimilatrices relativement aux autres.

La nutrition ainsi appelée sur certaines parties de l'organisme y augmente de puissance, et elle reste, par compensation, moins active dans les autres parties. Tous les effets des lois physiologiques sur l'accroissement qu'amène l'exercice et sur le balancement des forces organiques se produisent alors ; tous les caractères qui en sont la suite se prononcent. Ainsi, le développement plus actif et plus considérable du tronc appelle la réduction des membres ; l'aptitude à prendre la graisse de bonne heure favorise l'amplification du tissu cellulaire sous-cutané, constituant souvent un panicule épais, même une sorte de couche lardacée, dans les races très-précoces ; la prédominance des systèmes qui se complètent plus rapidement, du système musculaire et de ses dépendances, a pour contre-coup la subordination du système osseux, du système cutané et de ses appendices.

De là, une ossature légère, une tête fine et mince, comme le sont les côtes et toutes les parties dont le squelette forme la base ; de là, des membres courts et d'un petit diamètre dans leurs rayons inférieurs. Tous les organes qui s'isolent du tronc, la tête, les membres, la queue, s'unissent à la masse du corps par une large attache, indice d'un développement central puissant, et sont déliés à leur terminaison ; ils prennent ainsi une forme conique qui est d'autant plus accusée que la base est plus large et l'extrémité plus effilée. De là, le peu d'épaisseur de la peau, qui est moelleuse, douce au toucher, roulant comme sur un coussinet graisseux, et recouverte d'un poil doux, soyeux, qui donne à la main la sensation d'une mousse élastique. De là, la finesse des cornes et de toutes les parties d'une texture analogue. De là, cette forme générale cylindrique, presque parallélipipédique, ce corps massif porté sur de petites extrémités. De là, l'augmentation du poids, quand la circonférence thoracique s'accroît, et l'élévation du poids net par la réduction des extrémités. De là, en un mot, tous les caractères que l'éleveur apprécie comme réalisant l'harmonie de conformation chez les animaux dont il s'agit, et qui sont la conséquence de certaines harmonies physiologiques.

Pour que s'exercent dans leur plénitude les facultés propres à ces machines ainsi destinées à une conformation et à un fonctionnement particuliers, l'éleveur les laisse dans l'inaction au sein de l'abondance. Et comme, pour fixer les résultats acquis, les reproducteurs sont choisis parmi les animaux qui possèdent au plus haut degré les qualités spéciales qu'on requiert, ces qualités se complètent et se confirment à chaque génération. On favorise, d'ailleurs, la fixation de ces caractères spéciaux en prenant les reproducteurs parmi les jeunes animaux et en les unissant en proche parenté. Il se forme ainsi des races molles, tranquilles, tout entières consacrées à la boucherie, s'engraissant facilement et de bonne heure, fournissant un rendement élevé proportionnellement à leur poids brut et à leur conformation. Ces races n'ont pas, comme je l'ai montré, une grande activité vitale, et le poids réduit de leurs poumons est en rapport avec leurs besoins physiologiques.

On comprend, d'après cette explication, qui n'est en désaccord avec aucune des notions physiologiques et qui les utilise toutes, *pourquoi* l'ampleur de la région thoracique est le signe essentiel des animaux doués d'une grande puissance d'accroissement et d'engraissement. On comprend pourquoi cette ampleur de la poitrine se rencontre particulièrement dans les races précoces; comment elle détermine réellement la forme du corps; comment toute la valeur de la machine animale se peut résumer en elle; comment elle en est le caractère dominateur. On s'explique aussi pourquoi ces races précoces, à conformation si distincte, sont un produit industriel, et ne se rencontrent ni à l'état de nature, ni dans les conditions d'une agriculture pauvre ou encore attardée.

Si tels sont les effets d'une alimentation substantielle et constamment abondante, dès les premiers temps du développement de l'animal, quand tous les soins concourent, d'ailleurs, à un même but, et que l'habitude fortifie la nature, un élevage qui suivra d'autres errements obtiendra nécessairement d'autres résultats. Ainsi, il est évident que les races de travail, pour prendre naissance, exigent dès le jeune âge une alimentation d'une telle nature et dans une mesure telle qu'elle ne nuise pas au développement des éléments de leur force, leviers et muscles. Un certain exercice leur est favorable parce qu'il sollicite leurs

puissances locomotrices, appelle la vie dans les organes de mouvement, et éveille leur énergie. Leur poitrine, leur tronc tout entier ne sauraient prendre les dimensions auxquelles atteignent les animaux de boucherie les mieux caractérisées, et caractérisés essentiellement par la précocité. Toute leur organisation suit cette direction première; le système osseux gagne plus de force; les membres ne sont pas annihilés : l'animal a moins d'étoffe, mais il accuse la vigueur unie à une certaine liberté d'allure. Les aptitudes sont aussi tout autres; elles se résument en une énergie plus grande, servie par des muscles plus riches de fibres que de tissu cellulaire. A cette plus grande énergie correspondent, nous l'avons vu, des poumons plus développés.

Ces caractères se prononcent plus ou moins, selon que les races sont plus ou moins dures, plus ou moins rustiques, et, par suite, plus ou moins tardives. Les différences résultent fondamentalement de différences dans le mode de développement des animaux, et se traduisent par des différences dans l'ampleur de la région thoracique, dans la longueur des membres, dans la hauteur relative de la taille, et il faut ajouter dans le poids proportionnel des poumons, car ce sont là des termes corrélatifs. Pour ne parler que des animaux de notre pays, on peut voir des spécimens de ce type à des degrés divers dans nos races travailleuses Morvandelle, Gasconne, Ariégeoise, d'Aubrac, de Salers, Limousine, Parthenaise, Charolaise, et dans les branches dérivées de chacune d'elles, comparées à la souche-mère la plus parfaite.

Des considérations du même ordre sont applicables aux races laitières. Leur ampleur thoracique ne saurait égaler celle qui caractérise les races les plus aptes à un engraissement précoce; pour admettre le contraire, il faudrait admettre qu'un même mode de développement, que les mêmes lois vitales peuvent donner des organisations différentes, que la même cause ne produit pas les mêmes effets. Tous les faits d'observation viennent, d'ailleurs, donner raison à la physiologie sur ce point, et l'histoire des races bovines tout entière contredit l'assimilation qu'on a parfois tenté d'établir, spécialement sous le rapport du développement de la poitrine, entre les races laitières et les races les plus précoces pour la boucherie. Il suffira, pour rendre l'opposition sensible, de mettre en regard les races de Durham, de

Devon, de Hereford, d'Angus, d'une part, et les races Hollandaise, Flamande, Normande, Schwitz, d'autre part.

Pour les races laitières, comme pour les races de travail, nous trouvons, dans le développement de la poitrine, des degrés qui correspondent à la rusticité, à la tardiveté plus ou moins grandes des races ou des individus ; nous saisissons aussi un point où la région thoracique prend le développement compatible avec les facultés qu'on veut spécialement mettre à profit chez les animaux, en même temps qu'avec la faculté d'engraissement dont tous doivent être convenablement doués, puisque la destination dernière de tous est l'abattoir.

Outre qu'elle donne la mesure de l'aptitude des animaux à profiter de leur ration pour l'engraissement prompt et précoce, l'ampleur de la poitrine a donc encore une autre signification : elle indique jusqu'à quel point les animaux ont été bien nourris dans leur jeune âge, quelle confiance on peut, par conséquent, avoir en eux suivant les cas.

Si la théorie que j'expose peut rendre raison des caractères de conformations différentes chez les animaux domestiques, elle indique aussi quelles règles il faut suivre pour obtenir telle ou telle conformation en vue de telle ou telle aptitude. Elle ne guide pas seulement dans le choix des animaux, elle explique comment ils se forment. Elle montre ainsi comment on s'expose à faire disparaître les qualités propres d'une race en la soumettant à un régime et à un traitement qui n'est point en harmonie avec ses tendances; elle met en garde contre les imitations irréfléchies.

La conformation, à laquelle la pratique attache tant d'importance n'est pas une cause, c'est un effet. C'est, comme je viens de l'indiquer rapidement, la résultante de toutes les forces physiologiques diversement mises en jeu, et recevant leur première impulsion de la manière dont l'animal a été nourri et traité dès les premiers temps de sa vie. Aussi, le mode d'alimentation et d'élevage dans le jeune âge renferme-t-il, en définitive, tout le problème de la création et de l'amélioration des races. C'est là la conséquence pratique essentielle qui ressort de cette manière de comprendre la formation des machines animales; la pratique lui donne l'appui de son expérience.

VI

CONCLUSIONS.

Les conséquences que j'ai successivement tirées de la discussion des faits et les considérations que j'ai présentées dans le cours de mon travail peuvent se résumer en quelques propositions qui serviront de conclusion à ces recherches.

1. En général, on peut admettre comme fondée l'opinion qui prend le développement de la région thoracique pour signe du poids acquis par les animaux, et qui apprécie par l'ampleur de la poitrine le degré de supériorité des animaux comme utilisateurs de leur ration.

Mais l'observation, en confirmant cette opinion, en précise le sens relativement à la forme, au poids vif et au poids net des animaux.

2. A mesure qu'il gagne en poids, par suite des progrès de l'âge ou en raison d'aptitudes individuelles, l'animal prend plus d'ampleur thoracique et une surface totale plus grande; ces trois quantités se correspondent d'une manière constante à toutes les périodes du développement et indépendamment des autres dimensions, longueur et hauteur du tronc, qui ne croissent pas proportionnellement à la circonférence thoracique.

3. C'est dans le sens de cette circonférence que l'accroissement a surtout tendance à se reproduire; c'est le développement de la région pectorale qui détermine celui du tronc, et l'on s'explique de la sorte comment l'ampleur de la poitrine peut devenir un moyen d'apprécier le *poids vif*.

4. Il résulte aussi de cette marche du développement que, si le corps des animaux peut être comparé à un cylindre, on ne peut lui appliquer rigoureusement les définitions ni les formules de la géométrie quand il s'agit de comparer les animaux entre eux par le volume ou par la surface.

5. Quant au *poids net* (quatre quartiers), ce sont les animaux dont la taille est moins haute, dont les membres sont plus courts, dont le sternum se trouve ainsi plus rapproché de terre, qui donnent le rendement le plus élevé, si, en même temps, la poitrine est vaste, la forme de la région thoracique régulièrement cylindrique, sans dépression, sans étranglement, notamment derrière les épaules.

Ce sont donc ces animaux qui doivent être considérés comme meilleurs utilisateurs de leur ration, comme bêtes de boucherie supérieures.

6. Les conditions de conformation favorables au rendement en poids net sont ordinairement accompagnées d'un développement plus considérable du tronc en longueur.

7. Le poids vif et le poids net sont donc ensemble plus élevés, et l'animal possède une valeur répondant à la fois aux intérêts du producteur et du consommateur, quand, à une ampleur thoracique considérable, s'ajoutent le développement complémentaire du tronc en longueur, la régularité et le suivi de la forme cylindrique, la réduction de la hauteur au garrot, l'abaissement du sternum, la brièveté des rayons inférieurs des membres.

8. En même temps que l'animal gagne en circonférence thoracique, en poids et en surface, ses poumons prennent généralement plus de volume; mais ces organes ne suivent pas, dans leur accroissement, la marche progressive et concordante de ces trois *quantités*; de sorte qu'il n'existe aucun rapport constant entre le développement des poumons et celui de la région thoracique.

L'observation contredit donc cette assertion, que le développement de la poitrine donne la mesure du développement des poumons; elle établit que le développement de ces organes semble être lié à certaines conditions physiologiques d'activité vitale, de taille, de poids, d'âge, d'aptitude et de race.

9. Pour un même poids vivant, les poumons sont d'autant plus volumineux que la taille est plus haute.

10. Pour un même poids vivant, les poumons sont d'autant plus volumineux que les animaux sont plus jeunes.

11. Chez des animaux voisins d'âge et dans des conditions comparables, on trouve le plus ordinairement que le poids *absolu*, et constamment que le poids *relatif* des poumons, par rapport à un même poids vif, sont plus faibles quand la circonférence thoracique est plus grande; plus élevés, quand la circonférence thoracique est plus petite.

12. Dans les races les moins pesantes comparées aux plus lourdes, les poumons prennent un poids proportionnellement plus élevé par rapport au poids vif.

13. Parmi les animaux de même race, le plus faible poids relatif des poumons se rencontre chez ceux qui ont le poids vif le plus élevé, et le plus fort poids relatif des poumons chez ceux qui ont le poids vif le plus faible.

14. Chez les animaux de races précoces, le poids des poumons est absolument et relativement plus faible que chez les animaux de races tardives.

La comparaison des races françaises avec les races britanniques les plus perfectionnées au point de vue de la boucherie met ce fait en évidence.

15. De ces propositions il résulte que les animaux les plus remarquables par leur poids acquis, leur engraissement, leur rendement, leur précocité, le développement de leur région thoracique, ont les poumons les moins volumineux.

16. En mesurant le travail fonctionnel par le développement des organes qui l'accomplissent, on est donc conduit à estimer que l'activité respiratoire est moindre chez les animaux que signalent spécialement leur gain vif plus grand et leur engraissement plus facile, plus prompt, plus complet, plus profitable.

La théorie qui rattache ces aptitudes à une énergie plus grande des fonctions respiratoires, et cette énergie elle-même à un volume plus considérable des poumons, ne trouve donc pas de fondement dans ces faits.

17. Tous ces résultats d'observation concordent avec les résultats des expériences physiologiques sur la respiration.

En rapprochant les uns et les autres, on voit que, dans tous les cas où la physiologie a constaté un accroissement d'activité respiratoire lié à une plus grande puissance vitale de l'organisme, ou à des influences qui se rattachent à la taille, à l'âge, au poids des animaux, les poumons sont plus développés par rapport au poids vif, et que, dans les cas contraires, les poumons sont moins développés.

18. Les caractères de conformation et les aptitudes des animaux dérivent essentiellement de la manière dont leur alimentation et leur élevage ont été conduits dès la naissance, et du degré jusqu'auquel ils ont pu obéir de la sorte aux lois de leur développement, à cette première période de la vie.

19. Ces lois poussent au développement du tronc et à la pro-

duction de la graisse; elles amènent, en raison du balancement des forces organiques, la réduction des extrémités et celle de tous les systèmes de formation plus tardive.

Si elles sont tout particulièrement favorisées par une alimentation constamment abondante dès le jeune âge, et par l'ensemble des conditions de nutrition qui aident à l'engraissement, le tronc attire à lui, pour ainsi dire, l'activité formatrice, la région thoracique prend plus d'ampleur, les membres se subordonnent, les traits et les aptitudes des races de boucherie les plus parfaites se prononcent, puis le choix des reproducteurs fixe et perpétue les caractères et les qualités acquises.

Si ces mêmes tendances ne sont qu'incomplétement favorisées, l'ampleur de la poitrine est réduite en raison de la première impulsion donnée tout d'abord au développement de l'animal; par suite, les dimensions du corps, leurs rapports, la longueur des membres, la hauteur de la taille, le volume des poumons sont proportionnellement modifiés, conformément aux indications précédentes.

20. On peut donc, en la rattachant à sa cause, considérer l'ampleur de la région thoracique comme le caractère dominateur de l'organisme.

21. Outre que cette ampleur est en rapport avec la valeur de l'animal comme bête de boucherie, elle fournit aussi, eu égard aux causes qui la déterminent et proportionnellement à leur degré d'action, des renseignements certains sur la manière dont l'animal a été traité dès le début de son élevage.

22. Toute la question de la formation et de l'amélioration des races, par conséquent tout le problème physiologique et économique de la zootechnie se résume donc en une question de nutrition dans le jeune âge des animaux.

Bien que ces conséquences découlent de faits observés uniquement sur les races bovines, elles sont d'un ordre tel qu'on peut les considérer comme applicables aux races de nos autres espèces agricoles.

NOTE. — Il n'entre pas dans le cadre de ce travail d'examiner quelle pourrait être la part du refroidissement, chez les petits animaux, dans l'élévation de leur consommation alimentaire. Mais dans les calculs qui ont pour but de déterminer les rapports de surface entre les individus de petite et de grande di-

mension, on a été conduit à employer une formule dont mes présentes observations permettent de vérifier l'exactitude, indépendamment de toute application à la question de la chaleur animale, et eu égard seulement à la conformation des animaux.

J'ai reconnu, par un très-grand nombre d'observations faites sur la peau des animaux après leur abatage, et dont je rendrai compte ailleurs, que le procédé le plus exact pour obtenir la surface *totale* du corps consiste à calculer la surface convexe d'un cylindre dont la circonférence et la hauteur seraient données par la circonférence thoracique et la longueur du tronc, mesurées suivant la méthode que j'ai adoptée dans le présent mémoire.

D'après cela, si l'on compare l'un à l'autre deux lots formés d'animaux de même espèce, de poids individuel différent, mais donnant pour chaque lot un poids total identique, on trouve, suivant les données géométriques, que les surfaces totales (s et s') sont proportionnelles aux racines cubiques du nombre de têtes dans chaque lot (n et n') ; d'où $s : s' :: \sqrt[3]{n} : \sqrt[3]{n'}$.

Cette formule suppose que le volume est égal de part et d'autre, comme le poids, et que les cylindres sont semblables, c'est-à-dire que les dimensions dont on fait usage, la circonférence thoracique et la longueur du corps, restent proportionnelles chez les petits et chez les grands animaux.

Pour examiner si ces hypothèses sont exactes, j'ai formé, parmi les bœufs français, deux lots, donnant chacun un poids vif égal, et comprenant, l'un dix et l'autre sept têtes ; j'ai calculé la surface par tête, d'après les mesures que j'avais prises des animaux, et j'ai pu connaître ainsi le volume et la surface totale de chaque lot. J'ai fait la même opération pour les bœufs britanniques, en comptant deux lots de même manière, et de façon à obtenir dans chaque lot un poids vif semblable à celui des lots des bœufs français. On pourra voir de la sorte si la formule en question est applicable à des races de même modèle général, et à toutes les races d'une même espèce domestique.

Comme le montre le tableau O, le poids vif est absolument le même pour trois de ces lots : il est de 7,960 kilogrammes; le lot de dix têtes parmi les bœufs britanniques est seul plus lourd de 60 kilog ; aucune combinaison ne m'a permis de le ramener à une parfaite égalité avec les autres. Mais la différence est faible, et il sera facile, d'ailleurs, d'en tenir compte.

On peut remarquer d'abord que, pour les deux lots formés de sept bœufs, français ou britanniques, la surface moyenne par tête est sensiblement la même, bien que la circonférence et la longueur diffèrent, les bœufs britanniques ayant plus d'ampleur de poitrine, et les bœufs français plus de longueur de corps.

Pour les deux lots de dix têtes, la surface moyenne ne présente par la même concordance : elle est notablement plus grande chez les bœufs britanniques, qui ont à la fois plus de circonférence et plus de longueur, pour un poids qui n'est que de six kilogrammes plus élevé. Comme ces lots sont com-

TABLEAU O. — *Lots de poids égaux, composés de manière à montrer jusqu'à quel point le corps des animaux peut être comparé à un cylindre.*

BŒUFS DE RACES FRANÇAISES.										BŒUFS DE RACES BRITANNIQUES.									
Numéro d'ordre au tableau A.	Poids vif.	Circonférence thoracique. C.	Longueur du corps. H.	Surface du corps. C × H.	Numéro d'ordre au tableau A.	Poids vif.	Circonférence thoracique. C.	Longueur du corps. H.	Surface du corps. C × H.	Numéro d'ordre au tableau B.	Poids vif.	Circonférence thoracique. C.	Longueur du corps. H.	Surface du corps. C × H.	Numéro d'ordre au tableau B.	Poids vif.	Circonférence thoracique. C.	Longueur du corps. H.	Surface du corps. C × H.
	k.	m.	m.	mq.		k	m.	m.	mq.		k.	m.	m.	mq.		k.	m.	m.	mq.
5	605	2.315	2.07	4.79 21	2	1250	2 970	2.70	8.01.90	9	1300	3.035	2.45	7 43.58	17	620	2.300	2.10	4.83.00
52	650	2.290	2.15	4.92.35	4	1175	2.780	2.45	6.81.10	15	1210	3.015	2.68	8.08.02	18	625	2.630	2.35	6.18.05
50	775	2.500	2.30	5.75	3	1145	2 745	2.41	6.61.55	13	1130	2.655	2.40	6.37.20	19	675	2.565	2.28	5.84.82
15	800	2.460	2.12	5.21.52	34	1130	2.785	2.60	7.24.10	12	1110	2.570	2.45	6.29.65	6	780	2.375	2.10	4.98.75
43	820	2.485	2.25	5.59.13	44	1120	2.780	2.66	7.39.48	10	1100	2.705	2.40	6.49.20	2	825	2 500	2.20	5.50.00
45	820	2.530	2.35	5.94.55	27	1085	2.560	2.40	6.14.40	11	1100	2.660	2.54	6.75.64	14	825	3.005	2.65	7.96.33
8	835	2.485	2.44	6.06.34	29	1055	2.715	2.70	7.33.05	5	1010	2 775	2.50	6.93.75	4	895	2.575	2.20	5.66.50
16	840	2.480	2.20	5.45.60											3	910	2.585	2.20	5.68.70
9	860	2.525	2.20	5.55.50											1	925	2.650	2.48	6.57.20
19	955	2.675	2.30	6.15.25											8	940	2.675	2.30	6.15.25
Total. . .	7960			55.44.45		7960			49.55.58		7960			48.37.04		8020			59.38.60
Moyenne par tête. .	796	2.475	2.238	5.54.45		1137	2.762	2.56	7.07.94		1137	2 774	2.49	6.91.01		802	2.586	2.286	5.93.86

posés généralement des animaux les plus jeunes, cette différence semblerait prouver encore, après les autres faits dont il a été déjà question, que les bœufs britanniques arrivent plus vite à un développement plus considérable du tronc, et que leur poids vif comprend une moindre fraction d'issues, parce que leurs extrémités sont plus réduites.

En calculant le volume total de chacun de nos lots, d'après les éléments connus $\left(\frac{1}{4\pi} C^2 H\right)$, nous trouvons qu'il est :

de 10 m. c., 910	pour les dix	bœufs	français ;
de 10 , 878	sept		id.
de 10 , 674	pour les sept	bœufs	britanniques ; et
de 12 , 165	dix		id.

Les deux lots de bœufs français ont des volumes très-voisins ; le lot britannique de sept têtes présente un volume qui s'éloigne un peu des précédents, mais pour lequel la différence serait encore d'un ordre négligeable, car on ne peut prétendre appliquer à ces études sur les formes des animaux la rigueur des définitions géométriques. Quant au volume du lot des dix bœufs britanniques, l'écart qu'il accuse est beaucoup plus important, et tel qu'on est obligé de considérer ce lot comme échappant à l'application des formules auxquelles les autres paraissent se soumettre. Cette exception a pour cause, comme nous l'avons vu, une différence dans la marche du développement. Il faudrait donc en conclure que les comparaisons du genre de celle dont il s'agit ne se peuvent établir qu'entre des animaux de races se rapprochant par le type, et que les races précoces veulent tout spécialement être distinguées. Ces calculs montrent, au reste, entre quelles limites générales les variations peuvent osciller.

Quant aux surfaces, d'après la formule dont nous cherchons à apprécier la valeur, elles devraient être entre elles

$$:: \sqrt[3]{10} : \sqrt[3]{7} = :: 2,154 : 1,913.$$

Pour les deux lots de bœufs français, le calcul apprend qu'elles sont, en réalité :: 2,154 : 1,923. La différence n'est certainement pas grande; mais rigoureusement elle indiquerait que l'hypothèse de la similitude des cylindres n'est pas absolument applicable aux formes des animaux.

Pour les deux lots de bœufs britanniques, les surfaces sont entre elles, d'après les chiffres consignés au tableau :: 2,154 : 1,754, rapport qui s'éloigne un peu plus que le précédent des données de la formule.

Si l'on compare le lot de dix bœufs français au lot de sept bœufs britanniques, on trouve que les surfaces de deux lots sont entre elles

$$:: 2,154 : 1,879,$$

résultat un peu plus faible que celui fourni par la formule.

Enfin, pour le lot des dix bœufs britanniques rapproché du lot des sept bœufs français, le rapport des surfaces est :: 2,154 : 1,797, trop faible encore pour rendre tout à fait acceptable l'hypothèse de la similitude des cylindres.

En cherchant, d'après les mesures fournies par l'observation, si la circonférence et la longueur moyenne pour les deux lots compris dans chaque catégorie sont réellement proportionnelles, on arrive, par une autre voie, aux mêmes conséquences.

Ainsi, l'inconnue étant supposée être la longueur du corps, c'est-à-dire la hauteur du cylindre, on trouve que cette hauteur devrait être de $2^m,293$ dans le lot des dix bœufs français, comparé au lot de sept têtes. Elle est de $2^m,238$, ou de $0^m,055$ plus petite que le calcul l'exigerait dans l'hypothèse de la similitude.

Dans la catégorie des bœufs britanniques, la hauteur pour le lot de dix têtes devrait être de $2^m,321$; or elle est de $2^m,286$, c'est-à-dire de $0^m,035$ trop petite pour que cette même hypothèse soit justifiée.

Pour les deux exemples que mes observations me permettent de présenter dans chaque catégorie, les mesures prises directement sur les animaux ne satisfont donc pas complétement aux conditions de la similitude des figures. Le calcul indique que les écarts ont tendance à se produire dans le sens de *la circonférence* thoracique, plutôt que dans celui de la longueur du corps. Ce fait vient s'ajouter à ceux que nous connaissons déjà sur la prépondérance du développement thoracique dans la détermination de la forme générale du corps.

Puisque ces deux exemples montrent que c'est un peu dépasser les données de l'observation que d'admettre la proportionnalité entre les dimensions des animaux mis en parallèle, il faut voir si l'on aura chance de s'écarter moins de ces données, en adoptant une formule générale embrassant tous les cas, celui même des cylindres semblables.

Pour connaître le rapport entre les surfaces de deux lots d'animaux formant un même poids avec un nombre différent de têtes, cette formule générale est la suivante : $s : s' :: \sqrt{hn} : \sqrt{h'n'}$, c'est-à-dire que les surfaces des deux lots sont proportionnelles à la racine carrée du produit de la longueur du corps par le nombre de têtes dans chaque lot.

D'après cette formule, les surfaces de nos deux lots de bœufs français seraient entre elles

$:: \sqrt{22,38} : \sqrt{17,92} = :: 4,731 : 4,233$; or, elles sont, en réalité,

$:: 4,731 : 4,229$, rapport un peu plus faible que ne le voudrait cette formule, mais plus voisin des données théoriques qu'aucun des rapports calculés d'après la première formule, et aussi approché qu'on peut le demander dans de semblables questions.

Pour les deux lots de bœufs britanniqnes comparés entre eux, la formule voudrait que les surfaces fussent entre elles

:: $\sqrt{22,86}$: $\sqrt{17,43}$ = :: 4,781 : 4,175; elles sont, d'après le calcul des éléments d'observation, :: 4,781 : 2,894. La différence est ici plus sensible et plus grande que celle qu'on trouve avec la formule précédente.

Appliquée au lot des dix bœufs français, comparé au lot des sept bœufs britanniques, notre formule indique pour rapport

:: $\sqrt{22,38}$: $\sqrt{17,43}$ = :: 4,731 : 4,175; le calcul donne pour le rapport réel entre les surfaces :: 4,731 : 4,127, résultat un peu faible, et aussi un peu moins approché que celui auquel conduit la précédente formule.

Entre le lot des dix bœufs britanniques et celui des sept bœufs français, les surfaces devraient être :: $\sqrt{22,86}$: $\sqrt{17,92}$ = :: 4,782 : 4,233; elles sont en fait :: 4,781 : 3,990. Ici encore la différence est sensible et plus qu'elle ne l'est avec la première formule.

Il résulte de cette application des deux formules et des calculs relatifs aux volumes, que la forme du corps des animaux n'est pas absolument celle d'un cylindre. On s'explique par là pourquoi échouent toutes les tentatives faites pour calculer le poids des animaux d'après leur volume, en attribuant à leur corps toutes les caractères du cylindre, surtout quand on opère sur des individus isolément au lieu de prendre une moyenne sur un nombre assez grand de têtes.

Toutefois, le corps des animaux s'approche assez de la forme cylindrique pour que les données géométriques propres au cylindre lui soient applicables avec inexactitude certaine, mais aussi avec approximation suffisante.

Pour le cas dont je viens de m'occuper, et qui est celui pour lequel il est peut-être le plus intéressant de trouver une solution, on voit que la comparaison des deux lots, composés d'un nombre inégal de têtes donnant un poids vif égal, a surtout chance de conduire à des résultats qui concordent avec ceux de la géométrie, quand elle porte sur des races voisines de type, analogues surtout par le mode de leur développement. On voit aussi que, si l'hypothèse de la similitude des cylindres n'est pas rigoureusement exacte pour les animaux, elle ne s'éloigne pas plus de la réalité que l'hypothèse plus générale qui ne se fonde pas sur la proportionnalité des dimensions du corps. Or, comme l'hypothèse fondée sur la similitude de figure conduit à une formule plus simple, puisqu'elle n'exige que la connaissance du nombre de têtes pour des lots de poids égaux, on peut l'adopter de préférence dans tous les cas où il importe de connaître le rapport entre les surfaces de deux groupes d'animaux.

D'après les mensurations dont les résultats sont donnés dans mes tableaux

et qui se rapportent à 156 animaux de races diverses, on peut estimer que la surface du corps, pour des bœufs très-gras et d'une bonne conformation générale, est en moyenne de :

4 m.q. à 5m.q.	pour des poids variant	de 605 à 690	kil.;
5 à 6, 4	»	715 à 950	»
6, 5 à 7	»	960 à 1030	»
7, 4 à 8, 1	»	1040 à 1300	»

Il serait superflu d'insister sur les relations nécessaires qui lient la surface du corps au poids vif et, par conséquent, à l'ampleur de la poitrine; toutes les conséquences qui ressortent des considérations précédentes sur le développement des poumons par rapport à celui de la région thoracique sont applicables au développement des poumons relativement à l'étendue de la surface du corps.

DIVISION DE CE MÉMOIRE.

APERÇU STATISTIQUE

SUR LA PRODUCTION ET LA CONSOMMATION

DE LA HOUILLE EN FRANCE

PAR M. J. BURAT.

Le grand progrès de l'industrie moderne, celui que poursuit encore incessamment le génie manufacturier toujours à la recherche d'inventions et de perfectionnements, consiste à substituer, dans l'œuvre de la production, les forces artificielles aux efforts musculaire de l'homme, dont le rôle devient de plus en plus intellectuel.

Transformation admirable sous tous les rapports, puisque, d'une part, elle ennoblit notre tâche en réclamant l'intervention de nos facultés les plus éminentes, et que, d'autre part, elle améliore notre condition en nous permettant de produire mieux, plus vite, à meilleur marché !

C'est la houille qui fournit surtout à l'industrie les moyens d'opérer cette transformation merveilleuse dans ses procédés; c'est la houille qui met à sa disposition une source de chaleur presque sans limite; c'est la houille qui lui procure ainsi l'agent essentiel pour fondre les minerais, pour désagréger ou décomposer les substances diverses, pour faire marcher la machine à vapeur.

On dira sans doute qu'avant l'exploitation des couches souterraines qui recèlent le combustible minéral nous avions déjà le bois. Cela est incontestable. Mais ce qui ne l'est pas moins, c'est que si l'industrie avait été réduite aux seules ressources du combustible végétal, il lui eût été impossible de prendre cette extension merveilleuse qui doit plus particulièrement caractériser notre époque.

La houille est le combustible industriel par excellence. Pour s'en convaincre, il suffit de se souvenir qu'à poids égal elle renferme une puissance calorifique double de celle du bois.

Et, d'ailleurs, comment les nations les plus civilisées, qui avaient dû défricher la plus grande partie de leur territoire et le convertir en prairies ou en terres arables pour subvenir à la nourriture de leurs populations croissantes, auraient-elles pu

développer leur production manufacturière si elles n'avaient eu d'autre combustible que le produit de leurs forêts, si la houille ne leur avait pas fourni un combustible nouveau?

Comment l'Angleterre, par exemple, aurait-elle pu élever si haut sa puissance industrielle? Il lui reste à peine un million d'hectares de forêts; mais elle a trouvé dans le sein de la terre de nombreuses et de magnifiques couches de charbon fossile qui lui ont permis de suppléer au combustible végétal qu'elle n'avait plus, et dont elle a tiré un tel parti, qu'elle a pu à juste titre les appeler ses Indes *noires*.

Au reste, pour mieux préciser le rôle que joue la houille dans l'industrie moderne, nous rappellerons entre autres faits :

Qu'il faut deux tonnes et demie de houille pour produire une tonne de fonte, et qu'il en faut au moins autant pour convertir la fonte en fer, ce qui représente plus de cinq tonnes de houille pour la fabrication d'une tonne de fer, en partant du minerai;

Que la fabrication d'une tonne de faïence exige l'emploi de quatre tonnes de houille;

Que la création d'une force de cheval-vapeur représente, en moyenne, une dépense d'au moins 3 kilogrammes de houille par heure, soit 36 kilogrammes par jour de douze heures, soit près de onze tonnes par année, en supposant trois cents jours de travail.

Ce sont là des chiffres qui parlent assez haut par eux-mêmes, et qui montrent que l'on pourrait en quelque sorte mesurer la puissance comparative de l'industrie des divers pays d'après la quantité de houille qu'ils consomment.

La France, dont nous devons nous occuper plus particulièrement dans cet article, puise son approvisionnement à deux sources, la production indigène et l'importation, que nous examinerons successivement.

La production de la France en houille a été, suivant un rapport adressé à l'Empereur par M. le ministre du commerce et des travaux publics, de 79 millions de quintaux métriques en 1857.

A combien s'élevait autrefois cette production et quels ont été ses progrès? Nous ne remonterons pas au seizième siècle, où une ordonnance, rendue à Paris à l'occasion d'une maladie épidémique, défendait aux maréchaux, sous peine d'amende et de prison, d'employer le charbon de pierre et de terre dans leurs ateliers. Nous nous contenterons de dire qu'en 1789, c'est-à-dire

à l'époque où commençaient en même temps une révolution politique et une révolution industrielle, l'extraction de la houille en France n'atteignait pas 2 millions de quintaux et demi, c'est-à-dire qu'elle ne représentait pas même la trentième partie de ce qu'elle est actuellement.

Nous produisions déjà 8 millions et demi de quintaux en 1802; mais l'exploitation resta stationnaire les années suivantes, et nous étions encore en 1815 à peu près au même chiffre qu'au début du siècle. C'est à partir du rétablissement de la paix que le mouvement s'accéléra et prit de grandes proportions. Ainsi l'extraction monta successivement à 18 millions de quintaux en 1830, à 30 millions en 1840, à 44 millions en 1850, pour arriver à un chiffre de 79 millions en 1857.

On voit donc que, durant l'intervalle des quarante-deux années qui se sont écoulées de 1815 à 1857, la production indigène a presque décuplé.

Les bassins houillers qui concourent à cette production sont au nombre de 62; mais sur ce nombre la plus grande partie n'a qu'une très-faible importance, et l'on peut considérer, au moins actuellement, la richesse houillère de la France comme concentrée dans une vingtaine de bassins tout au plus.

Il faut citer en première ligne six bassins qui fournissent à eux seuls les quatre cinquièmes de l'extraction totale; ce sont :

Bassin de la Loire	22,426,000 q. m.
— du Nord et du Pas-de-Calais	19,600,000
— d'Alais	7,540,000
— de Blanzy	5,806,000
— de Commentry	4,845,000
— d'Aubin	4,635,000

Viennent ensuite onze bassins, qui produisent chacun moins de 2 millions de quintaux métriques, et dont le dernier n'en produit même qu'un peu plus de 400,000; ce sont ceux d'Épinac, d'Aix[1], de Carmaux, de Brassac, du Maine, de la basse Loire, de Decize, de Graissessac, de Ronchamps, de Vouvant et de Chatonnay (Vendée) et de Saint-Éloi (Puy-de-Dôme).

Quelle que soit notre richesse houillère, quelque progrès qu'ait fait l'exploitation de nos mines, il s'en faut de beaucoup cependant que la production indigène suffise à l'alimentation du pays. L'importation étrangère y contribue également pour une bonne

1. Le bassin d'Aix (Bouches-du-Rhône) ne produit que des lignites.

part, et l'on doit même constater qu'elle a pris une extension considérable pendant ces dernières années.

La quantité des houilles importées en France ne dépassait guère 2 millions de quintaux métriques en 1815 ; elle s'élevait à plus de 6 millions en 1830, à près de 12 millions en 1840, et elle a atteint, en y comprenant l'importation sous forme de coke, un chiffre de près de 60 millions en 1860.

Il en résulte que, dans l'espace des quarante-cinq années écoulées de 1815 à 1860, l'importation étrangère a augmenté dans la proportion de un à trente, tandis que, comme nous l'avons vu plus haut, l'extraction indigène a seulement décuplé durant le même intervalle de temps.

Trois nations étrangères concourent presque seules à cette importation : c'est la Belgique, qui nous a envoyé en 1860 34 millions de quintaux, l'Angleterre 15 millions, et l'Allemagne 11 millions. Les houilles belges alimentent plus particulièrement le nord de la France, les houilles anglaises le littoral, les houilles allemandes les départements de l'Est.

Si maintenant on additionne les quantités produites et les quantités importées, en négligeant nos exportations, qui sont insignifiantes, on obtiendra la consommation totale du pays; on verra que cette consommation, qui était d'environ 11 millions de quintaux métriques en 1815, a passé successivement à 24 millions en 1830, à 42 millions en 1850, et qu'elle peut être évaluée aujourd'hui à 139 millions ; de telle sorte qu'elle est actuellement douze fois plus considérable qu'elle n'était il y a quarante-cinq ans.

Ainsi donc, en résumé, la consommation actuelle de la France en combustible minéral est de 139 millions de quintaux métriques, dont 79 millions sont fournis par la production indigène et 60 millions par l'importation étrangère.

Lorsque l'on remarque la proportion considérable que l'importation étrangère prend dans notre approvisionnement, proportion qui était moindre d'un cinquième en 1815, qui est maintenant de plus des deux cinquièmes, et qui semble devoir être bientôt de moitié, on est tout naturellement conduit à se demander, s'il n'y aurait pas moyen d'accroître la part de la production indigène dans la consommation du pays.

Quelle que soit la doctrine économique que l'on professe en matière de commerce international, tout le monde cependant est

d'accord sur ce point : que toute nation doit chercher autant que possible à mettre en valeur les forces productives que la nature lui a départies.

Cela est surtout vrai quand il s'agit d'une matière, comme la houille, qui est pour l'alimentation de l'industrie ce que le blé est pour l'alimentation humaine, et qui est le grand agent du travail manufacturier.

Ainsi, la question est de savoir si nous possédons dans les entrailles de notre sol des richesses que nous n'ayons pas encore utilisées, et, dans le cas où il en serait ainsi, quels seraient les moyens à prendre pour obtenir tout l'effet utile qu'on peut en tirer.

Dans l'enquête sur les houilles faite en 1832, la direction générale des mines répondait à cette question, lorsqu'après être entrée dans quelques développements sur les dépôts carbonifères qui existent en France, elle concluait dans les termes suivants : « Cette courte revue suffit pour prouver que la France peut puiser dans ses propres mines tout le combustible minéral qu'elle consomme ou qu'elle est susceptible de consommer. »

On ne peut espérer cependant que la France soit jamais approvisionnée d'une manière exclusive par la production indigène. Ce qui est en jeu, ce n'est pas seulement la possibilité de produire, c'est la possibilité de vendre. Or, il est bien certain que la Belgique, en raison de sa situation même, devra toujours concourir dans une certaine proportion à l'approvisionnement de nos départements du Nord, de même que l'Angleterre à celui de nos départements du littoral, de même que l'Allemagne à celui de nos départements de l'Est. Mais du moins devons-nous faire nos efforts pour retenir dans nos mains tout le rayon d'approvisionnement qui semble devoir légitimement nous appartenir.

Lorsque l'on classe les différentes nations en raison de leur production houillère, on trouve, d'après les données approximatives qui ont pu être réunies, que nous ne viendrions qu'au cinquième rang. Voici, en effet, comment les nations se rangeraient :

	q. m.	
Iles Britanniques	650	millions
Amérique du Nord	210	—
Prusse, Saxe	120	—
Belgique	89	—
France	79	—
Autriche	15	—

On peut dire, à la simple inspection de ce tableau, que nous n'y occupons pas une place en rapport avec notre développement industriel. Il y a une dizaine d'années à peine, nous venions encore au troisième rang. Nous n'avions au-dessus de nous que les îles Britanniques et l'Amérique du Nord. Mais, depuis lors, quels qu'aient été nos progrès, la Prusse et la Belgique ont marché plus vite que nous, et elles nous ont devancés.

D'où vient cette infériorité? Si elle provenait de circonstances naturelles, par exemple, de notre indigence en terrains houillers, nous n'aurions qu'à l'accepter, en regrettant d'avoir été traités aussi défavorablement par la nature. Mais il n'en est rien. Nous avons rappelé tout à l'heure l'opinion émise à ce sujet par la direction générale des mines. Quelques faits suffiront à la justifier.

Les terrains carbonifères qui ont fait l'objet de concessions embrassent chez nous une superficie de plus de 500,000 hectares; il y a dans cette surface concédée des terrains de transition pauvres et stériles, des terrains à lignites qui ne donnent que des produits insignifiants; si l'on en fait abstraction, on arrive à évaluer notre domaine houiller à environ 350,000 hectares.

Si cette étendue n'est guère que le quart ou le cinquième de celle que possèdent les îles Britanniques, elle est plus considérable que celle de la Prusse, elle est plus du double de celle de la Belgique.

Ajoutons que nous sommes loin de connaître toutes nos richesses, et que de nouvelles découvertes viennent sans cesse accroître notre domaine houiller.

C'est ainsi que le bassin du Nord a vu, dans ces dernières années, presque doubler la superficie qui lui était assignée. On sait que ce bassin est le prolongement de la zone houillère qui traverse la Belgique depuis Mons jusqu'à Liége. Les couches sont recouvertes, vers la frontière française, par des terrains secondaires; comme leur direction était la même, on avait pu les retrouver et les exploiter, notamment à Anzin, à Douchy et à Ainche, en fonçant des puits à travers ce que les mineurs appellent les morts-terrains; mais toutes les tentatives faites pour les rejoindre au delà de Douai en suivant leur direction normale avaient été infructueuses, et l'on avait fini par croire qu'on avait atteint leur extrême limite, lorsqu'un sondage, entrepris pour

rechercher des eaux artésiennes dans une propriété des environs de Dourges recoupa des schistes analogues à ceux des terrains houillers, et donna l'idée que les couches pourraient bien à partir de Douai subir une inflexion vers l'ouest. On se mit à l'œuvre avec ardeur, et, depuis les premiers travaux qui ont eu lieu en 1847, il s'est révélé à nous un nouveau bassin houiller, celui du Pas-de-Calais, qui fournit déjà 5 à 6 millions de quintaux métriques.

C'est ainsi encore que l'on a constaté, par de nombreuses recherches, le prolongement des couches de houille de Sarrebruck, sous le territoire du département de la Moselle, et si les exploitations qui s'y sont établies n'ont pas pris de développement, c'est qu'on rencontre dans les terrains supérieurs des niveaux d'eau encore plus difficiles à franchir que ceux des bassins du Nord et du Pas-de-Calais, parce que les grès aquifères de la Moselle ne contiennent pas de couches imperméables qui facilitent les moyens d'isoler ces niveaux et de les traverser successivement.

Nous pourrions également citer le bassin de la Loire, dont le domaine tend à s'agrandir sous l'influence de recherches persévérantes. Jusqu'en ces derniers temps on avait été porté à considérer les exploitations de Saint-Étienne et celles de Rive-de-Gier comme appartenant à deux bassins distincts, séparés par le territoire stérile de Saint-Chamond. Or des fonçages, dont quelques-uns ont déjà été couronnés de succès, semblent prouver que ces deux bassins n'en forment qu'un en réalité, et que les couches de Rive-de-Gier s'étendent, non-seulement sous le territoire de Saint-Chamond, mais sous celui de Saint-Étienne, où des puits d'une profondeur suffisante pourront les atteindre un jour. Voilà donc la richesse du bassin de la Loire qui acquiert de nouvelles et plus grandes proportions.

Enfin, si nous voulions poursuivre cet historique de nos conquêtes houillères, les bassins de Saône-et-Loire, de l'Allier, de Brassac, de l'Aveyron et du Gard pourraient aussi nous fournir des exemples de nature à montrer que nous sommes loin d'être en possession ou du moins en jouissance de tout le domaine houiller qui existe sous notre sol.

Pour nous en tenir aux surfaces actuellement reconnues, nous avons dit tout à l'heure qu'elles embrassaient 350,000 hectares, et que nous en tirions actuellement 79 millions de quintaux mé-

triques. Or le rendement actuel est-il tout ce qu'il devrait être? Évidemment non, et, pour s'en convaincre, on n'a qu'à examiner quel est, chez les principales nations industrielles, le rapport des extractions annuelles aux surfaces houillères qu'elles possèdent.

On a dressé, d'après des données approximatives, le tableau suivant:

SURFACES HOUILLIÈRES.		PRODUCTION totale.	PRODUCTION MOYENNE par hectare.
	hectares.	q. m.	q. m.
Iles Britanniques....	1,570,000	650,000,000	414
Prusse, Saxe.......	300,000	120,000,000	400
Belgique...........	150,000	89,000,000	593
France............	350,000	79 000,000	225

Il résulte de ce tableau qu'en France nous n'extrayons que 225 quintaux métriques par hectare de terrain houiller, tandis que c'est 414 en Angleterre, 400 en Prusse et 593 en Belgique.

Nous ne prétendons certainement pas dire que la production doive se trouver dans un rapport mathématique avec l'étendue des terrains houillers. Il faut tenir compte de la richesse plus ou moins grande de ces terrains en combustible fossile. Mais quand on constate de semblables différences, il est permis d'en conclure que nous ne faisons pas rendre à notre domaine houiller un effet utile aussi considérable que celui que nous pourrions en tirer.

Au reste, sans sortir de France, nous trouvons dans quelques-uns de nos bassins des exemples de rendements considérables. Le bassin de la Loire, qui n'a qu'une étendue de 25,000 hectares, extrait 22 millions et demi de quintaux métriques, ce qui représente 900 quintaux par hectare. Ainsi, pour une surface qui n'est que la seizième partie de nos terrains houillers le bassin de la Loire fournit annuellement une quantité égale à plus du quart de la production totale du pays.

Dans notre second bassin par ordre d'importance, celui du Nord et du Pas-de-Calais, qui extrait actuellement près de 20 millions de quintaux métriques pour une surface houillère de 55,000 hectares, nous trouvons un rendement moyen de 360 quintaux par hectare. Mais si ce rendement est beaucoup plus

élevé que le rendement moyen de l'ensemble de nos terrains houillers, il est loin d'atteindre celui du bassin belge de Mons, où l'on extrait annuellement 870 quintaux par hectare. Il est vrai que les exploitations du Pas-de-Calais sont encore bien nouvelles, qu'elles accroissent rapidement leur production, et qu'elles doivent élever le rendement de notre bassin septentrional, sans que cependant nous puissions avoir la prétention de le voir atteindre le chiffre d'extraction moyenne du riche bassin de Mons.

Si l'on place à part les deux bassins de la Loire et du Nord que nous venons de citer, il ne reste plus alors, pour nos autres bassins houillers, qu'une production de 37 millions de quintaux pour une surface de 270,000 hectares, c'est-à-dire un rendement de 137 quintaux seulement par hectare; et cependant plusieurs de ces bassins recèlent de très-grandes richesses, des richesses à peine exploitées, que l'on pourra, quand on le voudra, amener au jour.

Ici se présente donc de nouveau la question que nous posions plus haut, savoir: D'où vient l'infériorité de notre production, puisqu'elle ne résulte pas de circonstances naturelles? D'où vient que nous ne tirons pas un meilleur parti de nos terrains houillers?

C'est qu'il ne suffit pas d'extraire la houille, mais qu'il faut encore la vendre, et que, pour lui trouver des débouchés, on doit lui faire subir des transports dont les frais entrent pour une proportion toujours considérable dans les prix sur les lieux de consommation.

Or, sous ce point de vue, il faut bien le reconnaître, la plupart de nos bassins houillers rencontrent, dans leur position même, des obstacles au développement de leur production; ils sont situés dans des contrées montagneuses, d'un accès difficile, où les voies de communication n'ont pénétré que lentement, et à des distances plus ou moins éloignées des grands centres d'industrie et de population.

Les bassins des nations concurrentes ont, sous ce rapport, des avantages manifestes que l'on pourra apprécier sans que nous ayons besoin de descendre dans les détails.

L'Angleterre, qui est la contrée la plus favorisée relativement à l'étendue et à la richesse des terrains houillers, est également celle que la nature a le mieux dotée en ce qui concerne la faci-

lité des débouchés. Ses deux bassins les plus riches, celui de Newcastle et celui du pays de Galles, sont en partie coupés par la mer, de telle sorte que les exploitations peuvent en quelque sorte déverser leurs produits dans les navires mêmes qui doivent les transporter par la voie la plus économique sur tous les points du littoral des îles Britanniques et du continent européen. Ils en expédient même plus de 3 millions de quintaux métriques aux États-Unis. Ajoutons que, le tonnage des importations de marchandises de toute nature dépassant de beaucoup en Angleterre le tonnage des exportations, la houille sert en quelque sorte de lest pour les voyages d'aller, et par conséquent se transporte à des prix d'autant plus réduits.

Si les bassins houillers de la Belgique ne disposent pas d'une voie aussi économique que la mer, ils ont l'avantage d'être placés à la frontière même de la partie la plus industrielle et la plus riche de la France; et comme la Belgique possède un système de canaux et de chemins de fer qui se relie, qui se confond même avec le système français, ils ont trouvé ainsi, à leurs portes, un *débouché tel* que les expéditions du Hainaut (Mons et Charleroy) *pour la France* représentent presque la moitié de ses extractions.

Quelle est, au contraire, la situation de nos principaux bassins houillers? A l'exception de celui du Nord et du Pas-de-Calais, la plupart sont disposés autour du pâté de montagnes qui occupe le centre de la France. Ils sont plus ou moins éloignés des centres de consommation qui peuvent absorber leurs produits, et leurs charbons n'y arrivent que surchargés de frais de transport qui en augmentent le prix dans des proportions considérables.

Ainsi il résulte de documents officiels publiés à diverses époques que :

En 1850, la houille était payée par les consommateurs au prix moyen de 2 francs le quintal métrique, tandis qu'elle n'était vendue que 0.93 sur les lieux de production;

En 1857, le prix dans les centres de consommation était de 2 fr. 53 c., tandis qu'il n'était que de 1 fr. 25 c. sur le carreau de la mine.

On voit donc que les frais de transport font plus que doubler le prix du combustible consommé.

Mais ce n'est là qu'une moyenne, et, par conséquent, si l'on

fait abstraction des quantités consommées sur place ou à proximité des mines, il s'ensuit que la proportion de l'accroissement de prix est bien autrement considérable pour beaucoup de centres de consommation.

On en jugera par les faits suivants, consignés dans les documents officiels : Le bassin de la Loire a expédié, en 1850, ses produits dans quarante-neuf départements, et pendant que le prix de vente sur place était, à cette époque, de 0,87 c. par quintal métrique, le prix de vente était de plus de 5 francs dans les départements d'Eure-et-Loir, du Loiret, de la Meuse, de la Mayenne, de la Sarthe, de Seine-et-Oise et des Vosges ; de 4 à 5 francs dans les départements de l'Aube, de l'Indre, de la Haute-Marne, de l'Orne, de Seine-et-Marne, de la Vienne, de l'Yonne ; de 3 à 4 francs dans quatorze autres départements qu'il serait trop long d'énumérer ; de telle sorte que plus de la moitié des départements qui consomment la houille de la Loire la payaient à un prix quatre, cinq et six fois plus élevé que le prix de vente sur les lieux d'extraction.

La question du développement de nos houillères, qui n'est autre que la question de la houille à bon marché, est donc essentiellement une question de transport, et la solution s'en trouve dans l'abaissement des frais que les charbons supportent pour se rendre du carreau de la mine aux lieux où ils doivent être consommés.

Nos houilles, par cela même que les exploitations sont situées loin des centres de consommation et qu'elles ont de grandes distances à franchir, ne peuvent être expédiées que par les voies économiques de la navigation intérieure et des chemins de fer, et tout consiste à leur en faciliter l'usage par les divers moyens dont on peut disposer.

La navigation intérieure n'est pas encore chez nous ce qu'elle devrait être. Si les canaux du Nord sont, en général, dans de bonnes conditions, il n'en est pas de même des canaux du centre. Tandis que les premiers portent des bateaux de plus de 200 tonneaux, les seconds ne peuvent en recevoir que de 100 à 120, parce qu'ils ont un tirant d'eau plus faible et des écluses plus petites. Ajoutons que leur alimentation est moins régulière et qu'ils sont soumis à des chômages plus prolongés. Mais ce qui rend surtout la navigation intérieure dispendieuse, c'est moins encore l'imper-

fection des canaux que le mauvais état des rivières auxquelles ils aboutissent ou qui les font communiquer. C'est ainsi que les bateaux qui débouchent du canal latéral à la Loire avec un tirant d'eau de près d'un mètre ne trouvent dans le fleuve, à Châtillon, qu'une profondeur moyenne de 60 centimètres seulement, ce qui les oblige à attendre les crues ou à répartir leur chargement sur d'autres bateaux. Il faut donc perfectionner et achever nos voies navigables.

A ces améliorations doit se joindre la suppression des droits de péage ou de navigation. Il a déjà été beaucoup fait sous ce rapport. Le gouvernement a reconquis la pleine disposition des tarifs sur la plupart des canaux; il a désintéressé les compagnies financières à l'aide desquelles avaient été exécutées les lignes décrétées en 1821 et 1822; il a racheté les canaux de Briare, d'Orléans et du Loing. Le premier usage qu'il a fait de son pouvoir a été d'opérer des réductions considérables sur les droits perçus antérieurement.

Aujourd'hui ces droits sont de 0 fr. 005 par tonne et par kilomètre sur les canaux du Nord, de 0 fr. 0025 sur les canaux de l'intérieur, non compris le double décime; différence qui a sans doute été établie parce que, comme nous venons de le dire, les canaux de l'intérieur ne peuvent recevoir que des bateaux d'un tonnage moitié moindre que les canaux du Nord.

Bien que ces tarifs semblent très-bas, ils ne laissent pas cependant que de peser encore assez sensiblement sur la consommation. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que le droit par kilomètre se répète bien souvent en raison de la distance de nos bassins houillers aux centres industriels qui achètent leurs charbons. La suppression complète des droits de navigation n'imposerait pas un grand sacrifice au trésor, et elle ne serait pas moins avantageuse à nos exploitations qu'aux industries qui consomment leurs produits.

On mettra ainsi nos mines en mesure de lutter avec plus de succès contre les efforts des exploitations anglaises, qui, pouvant, grâce à leur situation sur le littoral, embarquer directement leurs charbons sur les navires à voile ou à vapeur, non-seulement atteignent nos ports à peu de frais, mais encore remontent nos fleuves, la Seine, la Loire et la Gironde, sans avoir de droits de canaux à payer.

Enfin, combien n'avons-nous pas encore à demander aux chemins de fer pour le transport des houilles! Il est bien juste qu'ils contribuent de tous leurs moyens à la diffusion de ce grand agent industriel qui leur fournit à eux-mêmes la puissance de leur locomotion et le bon marché de leur traction. Ce ne sera en quelque sorte de leur part qu'un témoignage de reconnaissance.

Les chemins de fer anglais nous offrent, sous ce point de vue, des enseignements instructifs que nous ne saurions négliger.

Il résulte de documents incontestables que, sur les 70 millions de tonnes de marchandises de toute nature que les chemins de fer anglais ont transportées moyennement par année de 1856 à 1858, 45 millions consistaient en matières minérales et notamment en houille; c'est-à-dire que la houille forme près des deux tiers du tonnage total des chemins de fer anglais.

Combien nous sommes loin de tirer un semblable parti de nos voies ferrées! Si l'on interroge les comptes rendus des compagnies françaises, on trouve que, sur 13 millions de tonnes de marchandises de toute sorte qu'elles ont transportées en 1859, la houille peut représenter environ 4,500,000 tonnes, c'est-à-dire qu'elle ne forme guère que le tiers du tonnage total.

Ainsi nos chemins de fer ne transportent que 1 de houille pour 2 d'autres marchandises, tandis que, pour les chemins de fer anglais, le rapport est de 2 de houille pour 1 de marchandises d'autre nature.

Toutefois, en France même, nous pouvons citer, à titre exceptionnel, un chemin, celui du Nord, qui, en 1860, a transporté 3,890,000 tonnes, dans lesquelles la houille entre pour 1,875,000, soit pour près de moitié.

On peut faire encore le rapprochement suivant. Les 45 millions de tonnes de houille qui passent par les chemins de fer anglais équivalent aux trois quarts de la consommation totale du Royaume-Uni évaluée à 60 millions, tandis que les 4,500,000 tonnes que transportent les chemins de fer français ne sont tout au plus que le tiers de notre consommation montant à près de 14 millions. De telle sorte que, lorsqu'il se consomme 100 de houille en Angleterre, 75 ont été transportés par les chemins de fer, tandis qu'en France, sur 100 de houille consommée, 33 seulement ont emprunté cette voie économique.

Ces chiffres, qui nous sont fournis par une publication récente, montrent que les chemins de fer sont loin de nous rendre, en ce qui concerne le transport de la houille, des avantages comparables à ceux qu'ont su en tirer nos voisins de l'autre côté du détroit ; ils indiquent en même temps le but vers lequel nous devons tendre, si nous voulons, tout à la fois, encourager nos exploitations et avoir le combustible à bon marché.

Comment nos chemins de fer pourraient-ils se rapprocher du rapport constaté sur les chemins de fer anglais entre le tonnage de la houille et le tonnage total ? Il faut d'abord que les grandes lignes soient, au moyen d'embranchements, reliées avec les bassins houillers et même avec les puits d'extraction, que ces embranchements soient d'ailleurs construits par les compagnies de chemins de fer, ou par les exploitants, ou avec leur concours mutuel. Il faut ensuite que les compagnies abaissent leurs tarifs sur la houille à un taux aussi bas que possible, c'est-à-dire à un taux qui ne dépasse que de fort peu les frais de traction.

Il y a un véritable intérêt pour les compagnies de chemins de fer elles-mêmes à créer un grand transport de houilles. Les chemins de fer anglais présentent encore, sous ce point de vue, des indications qu'il peut être utile de consigner ici. Nous avons dit que, sur les 70 millions de tonnes de marchandises de toute sorte qu'ils avaient transportés, 45 millions ou les deux tiers consistaient principalement en houille. Or, tandis que les 25 millions de tonnes d'autres marchandises ont rapporté 200 millions de francs, les compagnies se sont contentées d'un produit de 100 millions sur les 45 millions de tonnes de houille; c'est-à-dire que la houille n'a guère payé que le quart de ce qu'ont payé les autres marchandises.

Hâtons-nous d'ajouter que nos compagnies de chemins de fer, celle du chemin de fer du Nord en tête, sont déjà entrées dans cette voie. Elles transportent, en général, les houilles à des tarifs de 4 à 5 centimes par tonne et par kilomètre pour les grandes distances. Mais ce n'est pas encore assez, surtout eu égard aux distances considérables que les houilles ont à parcourir, chez nous, pour atteindre les centres de consommation. Il faut aller plus loin, et si les nouvelles diminutions, que la réforme commerciale semble rendre indispensables, dépassaient ce qu'il est légitime de demander aux compagnies, il y aurait lieu de s'entendre avec

elles sur les avantages qu'on pourrait leur concéder en échange des sacrifices qui leur seraient demandés.

Au reste, le gouvernement s'occupe sérieusement de cette question, comme le prouve le paragraphe suivant du rapport sur la situation du pays présenté au Sénat et au Corps législatif le 4 février 1861 :

« L'administration, tout en poursuivant le développement des voies de fer, n'a pas perdu de vue une question à laquelle les réformes commerciales ont donné une importance toute particulière, c'est-à-dire la réduction des tarifs des chemins de fer sur les matières les plus nécessaires à l'agriculture et à l'industrie. Il n'est pas besoin d'insister sur les difficultés que présente la réalisation d'une mesure qui touche à tant d'intérêts. Des négociations sont ouvertes avec les principales compagnies des chemins de fer, et une commission spéciale a déjà réuni une grande partie des éléments qui doivent servir de bases aux traités à intervenir entre ces compagnies et l'État. On peut espérer que cette question sera prochainement résolue. »

Les moyens de développer l'exploitation de nos richesses naturelles sont donc connus ; on commence à les appliquer, et, suivant que cette application aura lieu sur une plus ou moins grande échelle, notre production houillère s'accroîtra elle-même suivant de plus ou moins grandes proportions.

DES PROGRÈS A RÉALISER

DANS LA FABRICATION DES FILS[1],

PAR MICHEL ALCAN.

Si l'on compare l'état présent de la filature automatique des matières textiles en général à ce qu'il était il y a cinquante ans, et surtout à son point de départ, vers la fin du siècle dernier, le progrès réalisé paraît sans exemple dans l'histoire industrielle. L'on ne saurait, en effet, visiter sans admiration ces immenses usines recevant la matière brute, le coton, la laine ou le lin, et voir fonctionner ces séries de machines, qui, sous une impulsion unique, concourent simultanément à une transformation progressive de la matière pour l'amener à l'état de fils autant que possible parfaits. Si parfois dans certaines industries l'âme est attristée par l'aspect misérable des travailleurs chargés de la conduite et de la surveillance de ces machines, l'idée consolante se présente aussitôt que cet état de choses n'est pas le résultat fatal du travail automoteur, qu'il n'est, au contraire, que la conséquence de l'emploi incomplet du système mécanique, ou d'une indifférence qui tend à disparaître de plus en plus. Les principaux industriels ont déjà compris, en effet, qu'ils ont charge d'âmes. Des exemples édifiants prouvent que le bien-être, la moralisation et l'indépendance de la classe ouvrière peuvent se concilier avec l'intérêt parfaitement entendu des patrons. La situation des travailleurs d'une partie de l'Alsace et de certains établissements des départements du Nord démontrera que la solution de ce grand problème social n'est pas aussi difficile ni aussi éloignée que l'on pourrait le supposer. L'on ne peut visiter ces usines sans être ému à la vue des améliorations matérielles, intellectuelles et morales,

1. Cet article reproduit les considérations présentées par le professeur en terminant la partie de son enseignement concernant les filatures des diverses substances textiles.

réalisées au profit des travailleurs et de l'entreprise générale à laquelle ils concourent.

En faisant aussi rapidement que possible, en toute sincérité, la part des progrès étonnants auxquels nous assistons, nous avons voulu mettre les appréciations sur les perfectionnements que nous entrevoyons, à l'abri du reproche d'un dénigrement systématique et faire comprendre que si nous nous permettons de démontrer que tout n'est pas encore pour le mieux dans la fabrication des fils, c'est pour remplir l'un des devoirs de l'enseignement public, dont la mission consiste à ouvrir des horizons nouveaux, après avoir étudié, exposé et discuté la valeur des procédés, des moyens et des résultats dont l'industrie est en possession.

Afin de rendre nos critiques plus précises et plus claires, nous envisagerons successivement chacune des spécialités telles qu'elles sont pratiquées, quoique certaines appréciations eussent pu être généralisées et appliquées à la plupart d'entre elles.

Filature du coton.—Les opérations qui constituent cette industrie ont pour but de transformer progressivement les filaments bruts, comprimés, vrillés, irrégulièrement disposés dans la masse et mélangés d'une certaine quantité d'impuretés, en fibres épurées, dilatées, redressées, rangées, parallélisées, arrondies et échelonnées systématiquement, de manière à obtenir des cylindres flexibles de longueurs et de finesses déterminées *a priori*. Les premiers appareils employés pour atteindre le but doivent épurer et rendre l'élasticité aux filaments. Les machines à ouvrir et les batteurs sont destinés à ce résultat. Les cardes qui les suivent, tout en continuant l'épuration, redressent, rangent et parallélisent les fibres pour les transformer en un ruban primitif. Celui-ci est régularisé, successivement allongé et affiné par des doublages et des glissements progressifs en passant par une série de laminoirs étireurs; les premiers de la série opèrent sans imprimer de torsion aux rubans, les derniers ou bobines à broches les tordent, au contraire, légèrement pour les consolider au moyen d'un organe spécial, et faciliter la suite des étirages. Enfin, le métier à filer, auquel passe la substance ainsi préparée, ne fait que continuer à étirer et à tordre, et dispose en général le fil sous la forme la mieux appropriée à son emploi ultérieur. La matière subit chacune des opérations un certain nombre de fois; leur mul-

tiplicité est, toutes choses égales d'ailleurs, en raison de la finesse et de la perfection du produit. La dernière fait exception à cette règle : il n'y a, en général, qu'une transformation au métier à filer.

Celles qui succèdent parfois à ce dernier travail, n'étant qu'accessoires et pouvant être considérées comme appartenant aussi bien au tissage qu'à la filature, nous les passons sous silence.

Examinons maintenant les principes sur lesquels repose chacune des opérations et des machines dont il vient d'être question, et recherchons jusqu'à quel point elles remplissent les conditions les plus désirables pour arriver à un produit parfait.

Machines à ouvrir et à battre. — La première série de machines destinées à diviser la masse des fibres, pour les nettoyer autant que possible isolément, et leur rendre l'élasticité neutralisée par la compression énergique de l'emballage, se compose pour *tous les cotons* (les longues soies exceptées) d'appareils à ouvrir armés de dents, et surtout de machines à battre au moyen de leviers tournant à grande vitesse. Il suffit de dire que le duvet si délicat, si ténu, qui a besoin d'être ménagé dans toutes ses transformations pour conserver sa ténacité et sa propriété élastique, est tout d'abord exposé à l'action brutale d'un nombre considérable de dents et à des chocs violents, pour que chacun comprenne le danger de ces moyens et l'intérêt que présente la recherche de procédés plus en rapport avec les caractères de la substance dite courtes soies qui forme les quatre cinquièmes environ de la masse totale manufacturée. La solution du problème présente des difficultés, sans doute ; mais la persuasion où l'on est généralement que ces sortes d'opérations ne laissent rien à désirer a peut-être été jusqu'ici une cause plus sérieuse de l'errement fâcheux que nous signalons que l'obstacle réel à vaincre pour en sortir. En voyant fonctionner l'ingénieuse machine, connue sous le nom de *souffleuse*, employée par les chapeliers pour épurer et classer par catégories de finesse les poils d'une même masse, nous avons pensé qu'elle renfermait en germe les principes d'un excellent appareil applicable aux premières préparations du coton. Nous ne nous dissimulons pas la distance qui

existe entre l'idée que nous émettons et son application en grand; aussi ne livrons-nous cette idée que comme une impression théorique, si l'on peut ainsi dire, née d'une observation continuelle des faits tels qu'ils se présentent dans les usines.

Machines à carder. — Le cardage et les machines à carder, avec tous les perfectionnements dont ils ont été l'objet, malgré leur fonctionnement merveilleux en apparence, et les nappes ou rubans diaphanes, réguliers, homogènes, obtenus lorsque le travail est bien réglé, ne peuvent échapper à la critique. Un examen sérieux du but qu'elles doivent atteindre et des moyens par lesquels on y arrive permet d'avancer que, nonobstant les services signalés rendus par ces ingénieux appareils, ils ne peuvent donner des résultats parfaits.

Redresser *toutes* les fibres d'une masse donnée, en enlever les nœuds, les boucles et les inégalités quelconques, en éliminer les dernières traces d'impuretés, et les disposer aussi parallèlement que possible dans un ruban continu aplati, telles sont les fonctions principales de la machine à carder. Elles doivent s'accomplir sans amoindrir les qualités de la matière et en faisant le moins de déchet possible.

L'organe essentiel auquel la tâche est confiée consiste dans des surfaces hérissées d'aiguilles plus ou moins fines, douées de mouvements combinés aussi bien que possible dans leurs rapports, afin que les filaments passent successivement avec une vitesse croissante entre des aiguilles de plus en plus fines, de plus en plus rapprochées pour arriver aux organes appropriés au *cueillage* de la fin de l'opération. Grâce à ces dispositions, que nous ne faisons qu'énoncer, les glissements des fibres entre des milliers d'aiguilles les forcent à accélérer leur marche de proche en proche; il en résulte une surface ou nappe veule, translucide, étirée, formée nécessairement de *fibrilles* plus droites et plus ouvertes, offrant en somme, à la sortie de la carde, un produit d'autant plus flatteur en apparence que l'opération, toutes choses égales d'ailleurs, aura été réitérée plus de fois. Mais si l'on examine certains points de la masse au moyen d'une loupe, l'on remarquera bientôt de nombreuses défectuosités : les filaments constituants sont loin d'affecter un redressement et un parallélisme général entre eux; un grand nombre sont *éraillés*, duveteux,

encore bouclés, boutonneux, et ne présentent ni l'uniformité d'épaisseur ni l'homogénéité si désirables pour arriver ultérieurement à un produit sans reproche.

Les causes de ces imperfections sont inhérentes aux principes des machines à carder; les mieux réglées même ne sont pas à l'abri du vice originel que nous allons essayer de mettre en évidence. La nappe ou masse de filaments à carder est fractionnée par les organes ou cylindres alimentaires auxquels la surface cardante principale, le grand tambour, les enlève par l'extrémité de ses nombreuses aiguilles, successivement en rapport par leur mouvement de rotation avec la ligne tangentielle par laquelle les fibres sont offertes. A mesure que l'organe cardeur fondamental se garnit et tourne, il rencontre une série de surfaces cardantes auxiliaires ou chapeaux fixes, armées également d'aiguilles disposées en sens opposé de celui de la garniture du grand tambour, auxquelles la force centrifuge, développée par ce dernier, renvoie les filaments. Les chapeaux s'en emparent momentanément pour les rendre aussitôt à la partie de la circonférence du cylindre qui se *présente* d'une manière continue par suite de la révolution qu'il *accomplit*. Il s'ensuit un échange continuel de fibres entre l'organe principal et les chapeaux. Ce transport entre les diverses parties de la carde ne saurait avoir lieu sans qu'il en résulte : 1° une agitation des brins qui les débarrasse des impuretés par suite de la différence de densité entre ces corps et le duvet léger; 2° le dénouage de certaines parties opéré par la force centrifuge; 3° une espèce de tiraillement et de glissement qui tend à redresser les filaments, en même temps que le frottement qui s'exerce entre les aiguilles peut à son tour enlever certains boutons et inégalités; 4° une sorte de peignage tendant à produire une disposition plus ou moins parallèle des fibres dans la masse ou nappe. Celle-ci, ainsi préparée, est enfin détachée par des organes spéciaux, connus sous les noms de peigneur et de peigne, qui la transforment en rubans, reçus à la sortie soit dans un pot tournant, soit autour d'un axe de rotation, pour en former l'alimentation destinée aux machines suivantes de l'assortiment. La carde est parfois modifiée dans ses éléments par l'addition de cylindres cardeurs tournants, qui précèdent les chapeaux de façon à ébaucher plus énergiquement le travail; parfois aussi ces derniers sont entièrement remplacés par ces cylindres tournants ou hérissons car-

deurs. Quoique nous n'ayons pas à discuter maintenant la valeur relative de ces dispositions, disons que la première modification, l'adjonction des hérissons aux chapeaux est préférable à la seconde pour arriver à un bon résultat; aussi la carde à hérissons sans chapeaux n'est-elle guère en usage que pour les cotons trop communs, et uniquement parce que, toutes choses égales d'ailleurs, elle produit davantage et se débourre en partie spontanément. Avant d'examiner le degré de précision avec lequel la carde réalise les fonctions qui lui incombent, remarquons un point caractéristique de son travail: l'impossibilité où elle est d'opérer le triage des fibres suivant leur longueur et d'opérer le peignage proprement dit, qui consiste à séparer les filaments de même longueur ou à peu près de ceux d'une dimension moindre, et de retenir les premiers alternativement et par parties ou mèches par l'une de leurs extrémités, pendant que les aiguilles passent dans l'autre, et de ne les réunir en ruban continu qu'après leur avoir fait subir régulièrement et méthodiquement l'action des pointes. Cette manière de procéder fournit par conséquent deux produits distincts : l'un, parfait, ne contenant que des fibres épurées de même longueur, aussi parallèles que possible entre elles, et offrant par conséquent une apparence des plus lisses, des plus homogènes et des plus brillantes; l'autre, nécessairement inférieur, formé qu'il est par des impuretés, des boutons et des éléments de diverses longueurs. La carde, en effet, ne peut opérer ni ce triage ni ce démêlage, ni le *parallélisage* mathématique, tous les filaments de la masse cheminant simultanément et successivement dans des directions opposées. Le résultat se trouve par conséquent formé de brins des dimensions les plus diverses, qui ne peuvent arriver au parallélisme mathématique si favorable à la formation des beaux fils homogènes, lisses et brillants[1]. Le cardage, même le plus parfait, ne peut donc être considéré que comme un peignage très-imparfait, si les considérations que nous venons de présenter sont exactes. Mais si les moyens de catégoriser les fibres par longueurs et de les paralléliser méthodiquement font défaut à la machine à carder, peut-

1. Si nous faisions une étude complète de la carde et de ses inconvénients, nous aurions à démontrer tout ce qu'elle laisse encore à désirer au point de vue de ses déchets et des difficultés d'entretien qu'elle présente.

elle du moins opérer la préparation *métisée* dont elle est chargée avec toute la certitude et toute la précision voulue? Nous ne le pensons pas, et nous sommes convaincu qu'elle n'arrive à une transformation à peu près conforme aux exigences et ne donne à la matière l'apparence voulue qu'au détriment de sa qualité. Pour obtenir, en effet, ce résultat, il est indispensable de multiplier outre mesure le nombre des passages entre les aiguilles; leur marche ne pouvant être régularisée ni méthodisée *a priori*, il est évident que l'action ne peut être proportionnée en raison de la nature des substances intégrantes de la masse, c'est-à-dire que les parties plus ou moins bien disposées reçoivent les mêmes préparations, celles qui en ont à peine besoin aussi bien que celles qui doivent être particulièrement traitées. Un amoindrissement de ténacité, une apparence duveteuse, souvent des éraillements de la surface pour les premières et une dépense de force motrice plus que nécessaire pour la masse, sont les conséquences forcées de cet état de choses. Jusqu'ici, nous avons supposé la machine dans les meilleures conditions d'exécution, de réglage et d'entretien, ce qui est presque impossible lorsqu'il s'agit d'un outil de ce genre. Rien de plus facile à démontrer. Pour qu'une carde donne la perfection dont elle est susceptible, il faut qu'elle offre non-seulement toutes les conditions de stabilité et de régularité de mouvement exigées par toute espèce de machines-outils, mais aussi et surtout que toutes les aiguilles qui la garnissent soient disposées aussi régulièrement que possible sous le rapport de leur espacement et de leur hauteur. Il est nécessaire, de plus, que l'élasticité, la résistance et l'action de toutes ces aiguilles soient identiques, que chacune d'elles soit aiguisée de façon à offrir une même ardeur au travail. Des accidents et des infériorités de résultats bien connus des praticiens sont la conséquence de l'irréalisation de l'une quelconque de ces conditions. Or, comment les obtenir toutes sur des millions de pointes d'aiguilles qui composent les surfaces travaillantes d'une seule carde? Comment les maintenir surtout lorsque la machine fonctionne depuis quelque temps déjà, que chacun de ses éléments a été plus ou moins régulièrement usé, encrassé, entretenu, etc.? Il y a là une difficulté qu'il suffit d'énoncer pour en faire saisir toute la portée. L'on peut citer des résultats pratiques bien propres à mettre en évidence l'action irrégulière et l'insuffisance de la machine à carder. Toutes les fois

qu'elle est employée à des cotons difficiles à travailler, teints, par exemple, dans des nuances foncées, comme cela a lieu dans les filatures pour la bonneterie, les garnitures s'usent avec une rapidité incroyable; elles durent à peine un an à dix-huit mois, et parfois moins longtemps encore, la détérioration a lieu avec une irrégularité très-sensible : certaines parties sont entièrement hors de service à côté d'autres qui sont restées à peu près intactes. Les motifs et les conséquences de ce fait sont trop faciles à déduire pour que nous croyions devoir y insister.

Toutes ces raisons nous permettent d'avancer que la carde est un instrument *spécieux* qui, un jour ou l'autre, devra être remplacé par l'action du peigne, ainsi que cela a déjà lieu pour les fibres extrafines du coton géorgie longue soie, grâce à l'admirable peigneuse inventée par Josué Heilmann.

Étirage, doublage, laminage. — Le laminoir substitué aux doigts de la fileuse pour opérer le glissement des fibres est sans contredit l'invention la plus originale, la plus parfaite et la plus capitale de la filature. Son emploi bien dirigé permet de transformer avec une précision mathématique une nappe ou un ruban donné, d'une longueur et d'une finesse quelconque et déterminée *a priori* en raison de la nature de la matière première et du produit recherché. Le principe organique du laminoir est adapté à presque toutes les machines des filatures, à partir du moment où les fibres ont reçu les premières préparations jusqu'après le filage; et si parfois le produit étiré n'a pas toute la perfection désirable, le motif est indépendant du système, attendu que, si l'exécution de la machine est convenable et si son règlement est établi en raison des caractères de la matière à traiter, si les doublages ont lieu dans les limites voulues, et que son entretien ne soit pas négligé, les produits ne laisseront rien à désirer.

Bancs à broches. — Les bancs à broches sont des bancs à étirer, munis d'organes tordeurs et envideurs, c'est-à-dire de broches à ailettes et de bobines. La complication de cette machine, où le principe du mouvement différentiel a trouvé une de ses applications les plus ingénieuses, tient entre autres causes et surtout à la nécessité d'envider sous une tension constante une longueur de ruban sans cohésion sensible également constante pour chaque

unité de temps, sur une surface de révolution, bobine ou cylindre, dont le volume, diamètre et hauteur varient suivant une certaine loi déterminée. C'est la réalisation mathématique de cette condition qui fait de cette machine une des plus remarquables et des plus perfectionnées de la filature, et à laquelle il n'y aurait rien à objecter si ce n'est son prix élevé, conséquence de sa complication et des soins particuliers que son établissement réclame.

Pour arriver plus simplement à la solution de cette question, l'on a eu l'idée de remplacer le léger degré de torsion imprimé au banc à broches par une friction obtenue au moyen du passage de la préparation ou rubans entre un cuir et des rouleaux frotteurs doués d'un double mouvement de rotation et de translation, qui constitue la machine connue sous le nom de *rota frotteur*. Ces appareils n'ont jamais été employés que pour des produits communs, et la plupart des fois comme machine à ébaucher les étirages de la seconde période pour les finir aux bancs à broches, afin d'économiser un ou deux passages dans ces derniers. Sans vouloir entrer ici dans l'exposé détaillé des causes de l'infériorité du rota, disons que la difficulté de maintenir des actions uniformes dans des surfaces susceptibles de varier de tension, le poli que prennent ces surfaces après quelque temps de travail, les déchets sensibles inhérents à la manière dont le produit en sort, le nombreux matériel accessoire (pots pour recevoir ce produit), font préférer les bancs à broches malgré l'élévation de leur prix. L'industrie normande est la seule où jusqu'à présent le rota n'est pas entièrement abandonné; son usage ne paraît cependant pas s'y développer sensiblement.

Un mécanicien suisse avait imaginé un système qui paraît plus rationnel; la préparation reçoit la torsion par la rotation de l'axe d'un entonnoir, dans lequel elle passe pour se disposer sous formes de couches horizontales en spires superposées. Chacune de ces couches (à l'inverse de ce qui a lieu d'ordinaire) est formée à partir du noyau ou axe de la bobine jusqu'à sa circonférence extérieure, et est ainsi superposée depuis la première de la base jusqu'à la dernière aboutissant au chapeau. En cherchant à éviter l'enroulement sur des diamètres variables et en disposant les mèches de façon à diminuer la quantité de tension nécessaire à l'enroulage, l'inventeur a pu simplifier sensiblement le mécanisme général de sa machine.

Nous pourrions signaler d'autres tentatives encore, si les deux plus saillantes que nous venons d'énoncer ne faisaient suffisamment ressortir le côté par lequel pèche le banc à broches, et les directions dans lesquelles on cherche à le modifier. Le problème est ingrat, il faut le reconnaître; car le banc à broches, nous le répétons, est une des machines les plus précieuses de la filature, et on ne peut guère lui opposer que son prix élevé, et peut-être une consommation un peu trop grande de force motrice.

Métiers à filer. — Les fonctions du métier à filer considérées en elles-mêmes sont identiques à celles du banc à broches. Il étire, tord et renvide les dernières préparations comme celui-ci étire, tord et renvide les précédentes. La différence de ces deux genres de machines ne réside que dans un degré d'application et dans les conséquences qui en résultent; le métier à filer, par suite de la proportion considérable d'étirage et de torsion, fournit toujours des produits d'une finesse, d'une ténacité et d'une élasticité bien supérieures à celles de la préparation qui lui vient des machines précédentes. Il s'ensuit que les différences du diamètre de la bobine deviennent bien moins sensibles, et sont formées d'un fil plus susceptible de résister à la traction. De là la possibilité de simplifier le mécanisme de l'envidage dans les métiers qui ont des bobines pour récepteur, et de supprimer le mouvement différentiel, la différence de vitesse nécessaire entre les broches et la bobine étant réalisée par un frottement de cette dernière sur son embase, qui ralentit son mouvement libre sur l'axe de la broche. Ce frottement par des dispositions assez simples peut varier d'intensité pendant la formation des couches du fil, de façon que la traction directe qui lui est imprimée reste à peu près constante. Le métier à filer auquel nous faisons allusion a donc une composition d'éléments identiques à ceux du banc à broches, et n'en diffère que par une simplification dans la transmission des organes envideurs. Le système connu sous les noms de *continus* en France et *throstle* en Angleterre est dans ce cas.

Remarquons toutefois que, si malgré leur simplicité l'usage de ces métiers est assez restreint, c'est parce que :

1° La traction directe de la bobine sur le fil ne lui permet

de donner avec avantage que des produits sensiblement tordus et exclut par conséquent ceux pour trame, en général peu résistants, et parce que la forme plus ou moins cylindrique de la bobine propre à ces métiers doit être dévidée et transformée en cônes ou canettes dans la plupart des cas ; ce qui est une opération assez onéreuse, surtout à cause des retards et des déchets qu'elle entraîne.

2° La production de ces métiers, lorsqu'il s'agit d'une certaine finesse, devient coûteuse et expose la solidité du fil. Pour que le filage de certains titres soit rémunérateur, il faut en effet que les broches tournent avec une grande vitesse, de 5 à 6,000 tours environ à la minute. Or, avec une semblable rotation, les frottements sur les embases des bobines, les vibrations des ailettes et la traction sur le fil augmentent considérablement et développent des inconvénients sérieux, des pertes de travail, des ruptures fréquentes et un amoindrissement dans la qualité et surtout l'élasticité du fil.

Le métier *Mull-Jenny*, au contraire, peut être employé *indistinctement* à toute espèce et numéros de fils, à ceux pour trame aussi bien qu'à ceux pour la chaîne; ce sont là des motifs précieux qui expliquent les recherches constantes dont ce système a été l'objet, et les perfectionnements qui lui ont été successivement appliqués, surtout sous le rapport de la commande de ses organes.

Il était dans l'origine un modeste métier de quelques broches mû à la main. Il devint bientôt une machine en partie automatique; le renvidage pour former le cône de fil ou canette qui constitue une des fonctions les plus délicates à réaliser restait seul confié aux soins et à la force musculaire de l'ouvrier. Mais ce n'était pas assez encore, il fallait augmenter la production, et par conséquent le nombre et la vitesse des broches, diminuer autant que possible les temps d'arrêt inhérents au système et ceux résultant des accidents. De là l'exécution actuelle des automates ou *self-actings*, composés chacun de 800 à 1,200 broches, sans que l'ouvrier ait autre chose à faire que de garnir le métier de bobines de préparation, d'enlever les fils terminés et de rattacher ceux qui se rompent. Le travail du filage proprement dit a complétement lieu par la machine. Et ici ce ne sont plus des bobines ou cylin-

dres qu'elle fournit, ce sont des cônes formés par des couches de fils symétriquement superposés sous une tension uniforme, et suivant les courbes géométriques les plus propres à produire un volume solide peu sujet à s'ébouler, surtout pendant son développement ou dévidage ultérieur. Nous reproduisons avec intention les conditions essentielles pleinement réalisées dans le résultat, et voudrions pouvoir entrer dans plus de détails sur les difficultés que présentait cette réalisation, pour faire apprécier toute l'étendue des connaissances mécaniques qu'il a fallu mettre en œuvre pour atteindre le but que l'on s'était proposé. L'emploi de ces métiers a permis d'entrer dans une phase de production économique inespérée; ils sont devenus indispensables à l'heure qu'il est pour toutes espèces de fils ne dépassant pas une trop grande finesse. Nous ne leur *marchandons* pas, on le voit, leurs avantages et les services qu'ils rendent. Nous pensons, néanmoins, et avons émis depuis longtemps l'opinion, que les métiers Mull-Jenny self-actings fourniront probablement une carrière moins longue que beaucoup d'autres machines dont l'apparition a causé moins de sensation. Si, à notre avis, l'on avait dépensé à perfectionner le système continu autant d'efforts de science et de persévérance que pour son concurrent, on aurait probablement depuis longtemps une machine beaucoup plus simple, plus facile à régler, *à fonctions simultanées*, par conséquent sans intermittence d'action, nécessitant moins d'emplacement et donnant des produits sans reproche[1]. Plus nous avançons dans nos études et recherches sur ce sujet, plus nous sommes persuadé de la possibilité d'arriver à un système automate mixte réunissant les avantages des deux systèmes en présence, sans présenter leurs inconvénients. Depuis

1. Lors même que les métiers de ce système sont parfaitement réglés, ils sont encore une cause de trouble dans la marche de l'établissement, attendu que l'accomplissement de leurs fonctions se partage en deux périodes principales, la sortie et la rentrée du chariot, qui exigent une dépense de force différente. Si tous les métiers étaient les mêmes, si leur nombre était toujours pair, et que chacun possédât une égale quantité de broches, on arriverait *à peu près* à la compensation si la moitié des métiers sortait pendant que l'autre rentre. Or c'est là une condition pratique à peu près impossible, surtout dans les usines existantes. Aussi n'est-il pas rare de voir dans des établissements de cette nature des irrégularités de mouvement telles qu'il faut avoir recours à des moyens spéciaux pour rétablir l'équilibre.

quelque temps, surtout depuis la propagation de l'usage des self-actings, il y a une recrudescence de travaux dans cette direction. Les praticiens les plus expérimentés font des tentatives qui, nous l'espérons, ne tarderont pas à être couronnées de succès.

Filature du lin. — La filature du chanvre et du lin est bien moins avancée que celle du coton; c'est à peine si les machines peuvent atteindre un cinquième à un sixième de la finesse que donnent couramment celles en usage pour le coton. Et pour obtenir un résultat identique avec ces deux substances, il y a une différence dans la dépense du travail d'au moins 1 à 4, c'est-à-dire qu'il faut une quantité de force motrice quatre fois supérieure, dans la filature du lin, pour faire rendre au même poids des deux matières premières une même longueur de fils; dans les bas numéros, cette différence est parfois de 1 à 10. L'écart entre les poids des machines des deux spécialités n'est pas moins considérable pour certaines d'entre elles. De plus, une filature de coton convenablement établie ne présente aucun inconvénient hygiénique dans ses diverses transformations. Le travail du lin, au contraire, est insalubre dans ses préparations premières du rouissage, et peut-être plus encore dans les ateliers du filage, qui, malgré tous les soins possibles, dégagent une odeur nauséabonde, une atmosphère chaude et humide, provenant de l'évaporation de l'eau chaude indispensable et dont une partie va se condenser aux plafonds ou aux voûtes, pour retomber en pluie fine sur les planchers. Aussi les cas de malaises, de maladies et d'infirmités sont-ils plus fréquents dans ces sortes d'établissements que dans toutes espèces d'autres, même lorsque les exploitants prennent tous les soins possibles pour amoindrir ce fâcheux effet. Si, des conditions hygiéniques dans lesquelles les premières préparations s'exercent, nous passons aux moyens par lesquels les fibres se préparent généralement, et aux conséquences résultant de l'emploi de ces moyens, nous reconnaîtrons qu'à ce point de vue l'état de cette industrie n'est pas plus satisfaisant, et que c'est à ces imperfections qu'il faut attribuer, selon nous, l'infériorité relative et incontestable de la filature mécanique du lin. C'est donc à la recherche des améliorations des préparations premières des tiges qu'il faut se livrer, si l'on veut arriver à faire entrer l'industrie du chanvre et du lin dans une phase

nouvelle de progrès, si désirable au point de vue de la santé et de l'économie.

Examinons donc cette opération préliminaire que nous rendons le bouc émissaire de presque tous les vices reconnus aux transformations automatiques de la filature du lin et du chanvre. Disons en peu de mots la manière de procéder dans les contrées les plus avancées sous ce rapport. Rappelons que les transformations du chanvre et du lin se divisent en général en deux périodes et en deux industries distinctes. La première, qui a pour but d'obtenir la filasse des tiges, est purement agricole; la seconde, qui transforme la filasse en fil, est entièrement manufacturière, lorsque le titre ne dépasse pas 80 à 100,000 mètres de longueur au kilogramme. Au delà de cette limite, le filage est encore une occupation domestique, à laquelle se livrent les ouvrières dans certaines contrées linières où la main d'œuvre est à vil prix. Ajoutons que les habiles fileuses des produits admirables pour dentelles deviennent de plus en plus rares, parce que le coton tend à se substituer au lin, même dans l'industrie dentellière la plus élégante; si cela continue, les dentelles en lin fin deviendront bientôt un mythe, et leur travail à la fois sain, moral et lucratif, selon l'expression d'un spirituel écrivain, disparaîtra complétement.

L'opération du rouissage, qui a pour but de faciliter la séparation de la matière filamenteuse de la partie corticale des tiges du chanvre, du lin, etc., constitue le traitement agricole dont il vient d'être question. Les principes sur lesquels repose cette préparation, les moyens par lesquels elle est généralement pratiquée, les diverses tentatives faites pour les améliorer, ont été assez souvent décrits dans les ouvrages scientifiques, les traités, rapports et opuscules industriels, pour que nous puissions nous borner à rappeler les inconvénients admis, en y ajoutant quelques-uns qui nous paraissent moins appréciés.

Dans les contrées où le rouissage est exercé avec le plus de soin, d'intelligence et d'expérience, il y a comme partout: 1° l'inconvénient de l'insalubrité, l'atmosphère aux environs des places où la plante retirée de l'eau est infectée d'une odeur particulière bien connue; cette circonstance et les fièvres intermittentes dont la plupart de ces localités sont affligées ont nécessairement fait admettre l'influence des routoirs sur ces terribles maladies; 2° l'impossibilité absolue de mettre les tiges dans des

conditions identiques de traitement, qui produit des irrégularités inévitables dans les rendements en matière filable et dans les qualités; 3° il suffit d'un accident atmosphérique, d'un orage, par exemple, pour que des parties considérables en traitement soient presque instantanément détériorées; 4° pour préparer avec efficacité un lin de quelque valeur, l'opération a lieu progressivement en deux périodes: elle est commencée dans la saison qui suit la récolte, et finie dans le printemps suivant, ce qui exige une double manipulation et une accumulation de capitaux inertes pendant deux ans. Ces inconvénients ne sont pas les seuls, nous en passons sous silence qui nous paraissent accessoires; mais nous ajouterons que les lins les mieux réussis au rouissage et au teillage qu'ils subissent après sont loin d'être débarrassés de la partie gommo-résineuse interposée; qu'il serait impossible, par les procédés en usage, d'opérer le départ complet de ce corps étranger sans détériorer presque complétement la substance filamenteuse que l'on recherche. La teinte de la filasse, son état de division irrégulier et insuffisant, la perte de 15 à 20 p. 100 subie par le fil *au crémage*, ou blanchiment partiel, prouvent surabondamment *ce fait*. Il résulte de cet état de choses : 1° que le cultivateur, après avoir passé par les chances aléatoires de sa récolte sur pied, est soumis aux éventualités d'une préparation première qui l'exposent à perdre une partie des fruits de son labeur; l'industrie, de son côté, se trouve souvent dans une pénurie d'approvisionnement qui serait amoindrie, si cette opération délicate était mieux entendue et plus sûre dans ses résultats; 2° qu'au lieu de livrer aux machines à peigner et à filer une matière textile pure, divisée autant que ses caractères naturels et intimes le permettent, elles reçoivent des fibres pâteuses qui masquent ses propriétés les plus précieuses, amoindrissent ses qualités, exigent des conditions de transformation spéciales, des peigneuses particulièrement combinées, des machines à étirer d'une force disproportionnée et d'une élévation de prix anormale, et surtout l'intervention de l'eau chaude et des pressions énormes dans les métiers à filer, pour arriver à dissoudre ce reste de gomme, qui s'aplatit, forme un enduit qui s'oppose tellement au glissement des fibres, qu'il faut développer une action considérable pour y arriver, et cependant la fileuse à la main l'obtient facilement pour les produits les plus extraor-

dinaires par une désagrégation progressive qu'elle effectue entre ses doigts avec un peu de salive ou d'eau froide. C'est cette trituration anormale au bac du métier à filer, cette espèce de rouissage et de fermentation supplémentaire dans une eau dont la température atteint parfois 80 degrés dans des ateliers clos, qui occasionne l'odeur, une partie de la dépense de la force motrice exagérée et l'insalubrité dont nous avons parlé précédemment. Les inconvénients du rouissage imparfait sont tels, que nous sommes convaincu qu'une fois cette préparation améliorée, des perfectionnements et des modifications considérables en seront la conséquence tant dans les moyens mécaniques que dans les résultats.

Nous n'ignorons pas les nombreuses tentatives plus ou moins rationnelles et plus ou moins heureuses entreprises pour remédier à cette opération fondamentale; elles sont une preuve de l'importance du sujet. L'insuccès pratique des essais faits dans cette direction, loin de nous amener à une conclusion négative de la solution de la question, nous a, au contraire, servi à tracer avec quelque confiance la route à suivre désormais pour y arriver.

Les divers systèmes ou procédés en présence peuvent se résumer en trois classes principales : 1° le traitement et la désagrégation des fibres par des moyens où les réactions chimiques dominent; 2° la préparation presque exclusivement mécanique; 3° les divers systèmes de rouissage par des procédés physiques.

Au chimiste Berthollet, qui coupait le lin en petits morceaux et le soumettait aux dissolutions alcalines, il y a plus d'un demi-siècle, pour en former une substance cotonneuse, remontent sinon l'origine du moins les tentatives sérieuses de la première classe, reprises avec des modifications, il y a quelques années, par le chevalier Claussen. Le *fibrilla* américain, dont les journaux et les sociétés savantes retentissent à l'heure qu'il est, paraît rentrer dans le même système de préparation, si nous sommes bien informé. Le défaut capital des procédés de ce genre est de faire trop et pas assez; trop, en ce sens que l'action, par son énergie ou sa prolongation sur des fibres en masse disposées sans ordre ni méthode pendant la désagrégation, les rend duveteux, cotonneux, dénaturés, irréguliers de longueur, de finesse et de disposition, n'ayant plus que la valeur d'un déchet; pas assez, parce que la désagrégation, pour obtenir l'isolement complet des fibrilles élémentaires évi-

demment douées de caractères identiques dans une partie de même origine, aurait besoin, au contraire, d'être prolongée, ce qui, avec les agents et les moyens énoncés, deviendrait dangereux, nuirait aux caractères et à la qualité de la substance, dont on doit rechercher la conservation avant tout. C'est par ces motifs que les procédés de cette classe n'ont pu se faire adopter, malgré la science de certains de leurs promoteurs et le savoir-faire des autres, et ne sont plus considérés que comme tout au plus propres au traitement de quelques plantes sans usage textile jusqu'à présent, ou à celui des déchets sans valeur des chanvres et du lin.

Le procédé mécanique plus rarement essayé, auquel M. Christian avait pensé, et qui a été repris tout dernièrement avec une persistance malheureuse, a la prétention de pouvoir se passer de moyens de désagrégation spéciaux. Il est séduisant par un rendement plus considérable en poids, mais cet avantage n'est qu'apparent. La substance étrangère que l'action mécanique n'a pu enlever rend les transformations plus difficiles et plus laborieuses; son départ, plus ou moins complet après les lessivage et blanchissage, a pour conséquence un produit mou, creux et de mauvaise qualité. Ce moyen ne mérite donc pas un examen sérieux.

Les divers systèmes de rouissage, dits manufacturiers, ont lieu à l'eau chaude, à la vapeur, ou par l'addition de quelques corps susceptibles de hâter la fermentation; nous les avons rangés dans la catégorie des traitements physiques, parce que la pratique a préféré jusqu'ici l'intervention de l'eau chaude, employée encore en Irlande, dit-on, mais abandonnée par les quelques industriels qui avaient les appareils à cet effet tant en France qu'en Belgique. Outre la dépense élevée du procédé, on lui reproche des difficultés de manœuvre, la nécessité d'immenses emplacements, des transports coûteux, des séchoirs incommensurables, parce qu'il agit comme le rouissage campagnard sur le lin en chaume, d'un volume vingt fois plus considérable, et d'un poids près de sept fois plus élevé que celui de la filasse utilisable que l'on en retire.

Il résulte de ce qui précède que, pour faire progresser la filature automatique du chanvre et du lin, et en obtenir des fils plus fins, plus parfaits, avec une dépense moindre de force, et la mettre à l'abri des conséquences fâcheuses de l'emploi

de l'eau trop chaude au filage, il faut alimenter les machines avec des filaments mieux dégommés et plus divisés, ainsi que semblait le préconiser Philippe de Girard, si nous nous reportons à ses premiers errements. Pour atteindre ce but, arriver à des résultats sûrs, constants, faire rendre à la plante toute la substance textile qu'elle contient, la traiter avec une précision de moyens et une constance de résultats qui caractérisent en général les progrès industriels de notre temps, *il faut*, au lieu d'agir sur la masse en chaume, sur le bois aussi bien que sur la substance filamenteuse, procéder par l'enlevage de toute la partie corticale dont la séparation est si facile par une action mécanique convenablement entendue. Par cette division à la portée du personnel le moins exercé, le moins industrieux et sans qu'il en puisse résulter d'inconvénient pour la filasse, protégée par la gomme, la matière vraiment utilisable se trouve mise en liberté, sous un volume et un poids très-réduits; elle devient, par conséquent, d'un transport économique et facile. Le rouissage, au lieu d'avoir des masses encombrantes d'une composition hétérogène, s'appliquera sur une substance assez homogène pour que la proportion d'ingrédients et la durée nécessaire à un traitement rationnel puissent être déterminées avec précision *a priori*. Il est bien entendu que nous faisons allusion ici à une préparation scientifique ou chimique à laquelle cette filasse gommée devra être soumise. L'action d'une dissolution alcaline, convenablement titrée, permet, en effet, d'enlever la gomme de la filasse verte, sans altérer en rien la qualité de la matière pure, et sans occasionner aucune espèce de dégagement insalubre. Des expériences nombreuses nous l'ont prouvé. De plus, on arrivera ainsi à une division aussi complète que possible des fibres. Seulement, pour qu'elles conservent leur parallélisme naturel, si important aux transformations ultérieures, il est indispensable de les disposer méthodiquement et avec soin dans les appareils où elles doivent subir les diverses phases du dégommage et du lavage.

Depuis que nous avons l'honneur de nous occuper de l'enseignement public des arts textiles, nous n'avons cessé d'indiquer la nécessité d'entrer dans la voie que nous venons d'énoncer. Des faits récents, dans le détail desquels nous ne pouvons entrer pour le moment, commencent à prouver par des résultats pratiques l'importance technique de cette désagrégation com-

plète et préalable de la substance. Jusqu'à ce que ce résultat soit atteint, l'état de l'industrie chanvrière et linière peut être comparé à celui d'une filature qui s'efforcerait de transformer une laine non dégraissée, ou de la bourre de soie qui n'aurait pas été désagrégée par le décreusage. Des inconvénients au moins aussi graves et identiques à ceux signalés pour le lin surgiraient aussitôt dans le travail de ces substances. Que l'on suppose, au contraire, la matière végétale épurée, et divisée comme ses analogues du règne animal, et les conséquences changent aussitôt. Il arrivera alors pour la filature du lin ce qui est arrivé pour celles des laines et bourres, si avancées aujourd'hui. Elles ne pouvaient fournir que des produits imparfaits, très-limités dans leurs finesses, chèrement et laborieusement obtenus pendant plus d'un quart de siècle, et jusqu'au jour où l'on est entré dans la voie des préparations rationnelles, il y a une trentaine d'années. Depuis cette époque, ces industries ont constamment progressé sans changer d'errements. Elles sont arrivées à une perfection et à des résultats économiques que l'on eût taxés de chimériques si on les eût prédits lors des premières applications des moyens auxquels on les doit.

Filature des laines. — Nous sommes obligé de distinguer, dans le travail des fils de laine, quatre et peut-être bientôt cinq spécialités.

Qui sont :

1° La filature de la laine cardée pour tissus foulés et drapés;
2° — de la laine peignée à filaments courts pour tissus ras mérinos et leurs dérivés;
3° — de la laine à filaments longs ou laine anglaise pour popeline, orléans, mooreen, ou produits ras brillants et carteux;
4° — mixte ou cardée peignée pour châles, gilets, bonneterie, et toutes sortes de nouveautés garnies, douces, et soyeuses au toucher;
5° — Le feutrage des fils avec toutes espèces de laines pures, et surtout de la laine à filaments courts, purs ou mélangés à d'autres substances.

Afin d'abréger notre travail, qui n'a pas la prétention d'entrer dans des détails réservés à des traités spéciaux, nous ferons

une observation générale, applicable aux préparations premières de la laine, indépendamment de la spécialité à laquelle elle est destinée.

Quels que soient l'usage ultérieur des laines et les moyens par lesquels elles doivent être transformées, il est toujours indispensable de procéder à leur épuration, c'est-à-dire de les dégraisser et de les laver pour débarrasser leurs brins cornés du suint et surge qui les enduit en si forte proportion (de 25 à 80 p. 100) à leur état naturel. L'opération est pratiquée par la combinaison d'une action chimique et mécanique; une dissolution chaude ou tiède de sel de soude, de potasse ou de savon agit d'abord sur la laine qui y est immergée, et en est extraite ensuite par des lavages au savon et à l'eau pure, avec le concours d'une pression énergique exercée par le passage de la laine entre des cylindres, lorsqu'elle est destinée au peignage; et s'il s'agit de laine courte vrillée pour la production des lainages feutrés, l'épuration a lieu autant que possible dans un courant d'eau, baignant un panier ou caisse percée de trous ou garnie de toile métallique. La laine qui y est placée est ouverte, rincée au moyen de bâtons ou de râteaux dont sont munis des ouvriers, lorsque le lavage a lieu à la main, ou par des moyens automatiques dans certains appareils qui tendent à se propager de plus en plus.

On estime en moyenne une dépense de savon de 15 à 20 p. 100 du poids de la laine pour le dégraissage et le lavage aux cylindres; cette dépense nous paraît sensiblement réductible par un emploi mieux entendu des corps gras abandonnés par la laine elle-même, qui sont encore perdus presque partout. Il est regrettable de voir que, malgré les travaux les plus sérieux des savants les plus compétents, cet emploi du suint de la laine soit aussi peu avancé. Dans le dégraissage des laines courtes et vrillées, les corps gras de la laine sont cependant mieux utilisés; aussi une faible proportion d'alcali suffit-elle pour arriver au résultat. Mais le lavage aux paniers laisse à désirer en ce sens qu'il doit s'y perdre une certaine proportion de laine dont les brins s'échappent par les trous ou les mailles. Il suffit d'indiquer le fait pour l'empêcher par une disposition mieux étudiée de l'appareil.

Le dégraissage et le lavage ont une importance sérieuse sur les

opérations ultérieures; bien des accidents de la fabrication peuvent résulter de leur insuffisance ou imperfection. Nous n'avons cependant pas à y insister, attendu que les conditions à réaliser pour obtenir de bons résultats sont connues; que s'ils ne sont pas atteints, il faut en attribuer les causes à des manques de soins ou à une indifférence toujours préjudiciable lorsqu'ils se rencontrent dans le courant d'une fabrication.

Filature de la laine cardée. — Pour que les brins vrillés de la laine courte se laissent convenablement filer, il est nécessaire de les enduire au préalable d'une certaine proportion d'huile ou de mélanges gras, de 15 à 20 p. 100 de leur poids. La nature et les proportions du graissage ont fait l'objet de bien des recherches. L'huile d'olive, l'acide oléique pur ou sous forme d'émulsion, réussissent parfaitement[1]. Mais le point qui laisse le plus à désirer est la manière d'opérer le mélange du corps onctueux à la substance textile, pour qu'il ait lieu uniformément et aussi intimement que possible. A cet effet, un appareil pneumatique adapté à la première machine où le graissage s'opère, de façon que chaque partie de la laine étendue sur la toile sans fin alimentaire reçoive une égale quantité de liquide, répondrait parfaitement et économiquement au but que l'on se propose.

Si notre critique des machines à ouvrir et à battre le coton est applicable à la laine, il n'en est plus tout à fait de même pour le cardage et la machine à carder. Cette opération est bien mieux appropriée à la laine qu'au coton, attendu que, pour un fil destiné à recevoir ultérieurement l'action du feutrage, il n'est plus nécessaire d'arriver au parallélisme des brins; au contraire, leur direction en sens opposé dans la nappe et par suite dans le fil facilite le feutrage.

Cette circonstance explique le motif pour lequel les chapeaux

1. Les filateurs recherchent avec raison dans une huile sa pureté, sa fluidité et sa limpidité, mais ils ne tiennent pas assez compte des conséquences résultant de sa nature. Lorsque cette substance se trouve mélangée aux déchets de laine, ces déchets, placés dans certaines conditions, sont la cause la plus fréquente des incendies dont les filatures de laine grasse sont affligées lorsqu'elles emploient les huiles végétales. Les expériences les plus concluantes prouvent, au contraire, que l'usage de l'acide oléique est complétement à l'abri de cet inconvénient grave.

n'existent pas dans la carde à laine; les hérissons de rotation garnis de rubans de carde qui en tiennent lieu font prendre successivement aux filaments des directions opposées, de façon à produire des enchevêtrements de brins favorables au résultat final. C'est encore à cause des transformations ultérieures du feutrage que l'on se dispense de faire subir aux laines cardées des étirages successifs, et qu'on les peut faire passer immédiatement de la carde au métier à filer. Aussi celui-ci ne peut fournir que du fil relativement imparfait et peu solide, qui serait tout à fait insuffisant si le foulage ne devait venir consolider et perfectionner l'étoffe. Le filage de la laine cardée peut donc être considéré comme une espèce de transformation transitoire donnant par l'entrelacement de ses produits une toile lâche et molle, dont les principales propriétés, et surtout la plus grande part de solidité, sont obtenues par l'action du feutrage et du foulage. L'état relativement stationnaire de cette spécialité tient précisément à ce que l'on compte trop sur cette ressource ultérieure, et à ce qu'on lui demande non-seulement ce qu'il peut rendre, mais aussi ce qui n'est pas de son ressort. Un simple fait peut donner une idée des améliorations les plus élémentaires à réaliser dans la filature du cardé. Elle est à peu près la seule qui ne fait pas directement les cannettes du tisserand au métier à filer, et qui continue à faire les dépenses *inutiles* d'un dévidage et des déchets qui en résultent. Si nous étions bien sûr de ne blesser personne, nous nous permettrions de dire que l'on ne peut attribuer cet état de choses qu'à la... routine.

Laine peignée. — Le travail de la laine peignée, tant de la laine mérinos au point où il est arrivé en France, que de la laine longue particulièrement perfectionné par les Anglais, est au contraire très-avancé et laissera peu à désirer lorsque les dernières modifications apportées aux combinaisons et à l'agencement des opérations préparatoires et à l'accélération des métiers à filer se seront plus généralement propagées. Un peu moins de passages dans les transformations qui précèdent le filage et une plus grande vitesse dans les broches, combinés avec des interventions de la vapeur bien réglée, permettront de continuer à produire dans les conditions de perfection atteinte par ces spécialités et de réduire sensiblement la dépense de la fabrication.

Fils mixtes. — Les fils mixtes ou cardés peignés sont obtenus, ainsi que l'indique leur dénomination, par un outillage qui est celui du cardé aux premières préparations et celui du peigné pour les suivantes. Il en résulte un fil doux et duveteux, mais plus régulier que les fils cardés proprement dits.

Cette spécialité, à cause de la complication des machines, le prix de revient des opérations et la possibilité d'obtenir par le cardé simple un produit analogue, tend à disparaître peu à peu.

Fils feutrés. — La spécialité intermédiaire qui précéde se trouve surtout menacée, à l'heure qu'il est, par l'ingénieuse invention qui consiste à produire des fils de laine par la substitution du feutrage au filage. Les échantillons de fils de cette nouvelle provenance et des tissus qu'on en a faits démontrent en effet que les fils nouveaux réunissent les caractères les plus recherchés dans certains genres de lainages, dans ceux dits de fantaisie ou nouveautés, de la draperie, de la bonneterie, des châles, des gilets, etc. Il est donc à désirer que les efforts persévérants de l'inventeur pour amener son procédé à un degré de *praticabilité* qui ne laisse rien à désirer soient couronnés d'un plein succès, de façon à faire disparaître de plus en plus ce produit incomplet, cher et insuffisant pour une foule de destinations que donne le filage de la laine cardée.

Industries des soies. — Ces industries se composent de la *magnanerie* ou élève des vers et formation des cocons, de la production des soies gréges ou dévidage des cocons, du *moulinage* comprenant le doublage et le retordage des soies crues ou gréges, enfin de la *filature de la bourre de soie*, qui transforme les déchets des industries précédentes en fils.

Comme nous ne pourrions que reproduire une partie des nombreuses dissertations et considérations auxquelles l'élève des vers à soie a donné lieu depuis Olivier de Serres jusqu'à ce jour, et surtout dans ces derniers temps, à l'occasion de l'épidémie qui afflige cette partie de l'industrie agricole, nous nous dispensons d'en parler et renvoyons à ce sujet aux consciencieux travaux de l'Académie des sciences, qui résument les données les plus utiles à connaître.

Étouffage des chrysalides et dévidage des cocons. — L'étouf-

fage des chrysalides, qui précède en général le dévidage des cocons, malgré ses allures pratiques, laisse beaucoup à désirer.

L'usage de l'exposition au soleil n'est pas toujours applicable et donne des résultats irréguliers et peu sûrs. Celui de la chaleur des fours est limité et présente également ce dernier inconvénient. Les appareils à air chaud exigent des dépenses considérables, deviennent très-volumineux lorsqu'il s'agit d'opérer rapidement sur des masses comme cela est indispensable dans l'espèce, et les meilleurs, on le sait, sont délicats, capricieux et difficiles à régler, surtout sous le rapport de l'uniformité de la température. Reste donc l'usage de la vapeur, généralement employée dans les grandes exploitations. La nécessité d'opérer le séchage de ces grandes masses humides immédiatement après l'étouffage, le traitement mélangé des cocons frais plus ou moins tachés avec des cocons sans défectuosités exposent ceux-ci à subir des avaries à leur tour; l'inconvénient d'un transport parfois assez éloigné du lieu de production à celui où se trouve l'appareil à vapeur ; les détériorations et la perte d'une matière aussi précieuse que la soie résultant de ces diverses causes, sont les reproches principaux adressés à l'étouffage par la vapeur. L'on a parfois aussi proposé l'usage des huiles lourdes, du sulfure de carbone, d'un emploi trop délicat dans la circonstance pour que nous nous y arrêtions.

Le problème consiste, si nous ne nous trompons, à trouver un corps solide volatil à bas prix, dont la présence dans les paniers ou caisses de transport de la magnanerie à la filature suffise pour asphyxier les chrysalides, de façon que l'éclosion soit arrêtée, et que les cocons arrivent prêts à être emmagasinés. L'on sourira à l'énoncé de ce moyen, beaucoup plus pratique cependant que l'on ne suppose, nous en avons la certitude, et son importance vaut la peine que l'on s'en préoccupe.

Dans le filage des cocons, sur un poids de 100 de soie grége d'au moins 100 francs le kilogramme, le plus habile fileur fait encore actuellement de 30 à 33 p. 100 de déchet dont la valeur maxima est de 10 fr. le kilogr., c'est-à-dire qu'un tiers de la matière perd les 9/10es de son prix, et 3 à 5 p. 100 sont encore perdus dans le dévidage ultérieur pour transformer la flotte ou écheveau en bobine. Tel est l'état des choses malgré le degré d'avancement de cette industrie. La cause principale de la

trop grande proportion de perte tient à une préparation ou à la cuisson imparfaite que l'on fait subir aux cocons pour les dévider, et disposer leurs fils en écheveaux. Ceux-ci obtenus, on est obligé de nouveau, pour les mouliner, de transformer ces écheveaux en bobines par un dévidage qui demande du temps, des frais, et occasionne le déchet ci-dessus énoncé. Ces deux inconvénients graves tiennent : le premier, à ce que la fileuse la plus habile n'a d'autre moyen que ses doigts et d'autre indication que son expérience pour préparer les cocons ; d'ailleurs, les conditions mêmes dans lesquelles ils sont traités portent avec elles leur cause d'irrégularité. Le cocon frais rempli d'air, plongé dans l'eau bouillante, se pénétrera plus rapidement à sa surface qu'à son centre ; si donc la surface n'est préparée qu'à point, l'intérieur ne le sera pas assez, les couches correspondantes nécessiteront une nouvelle ébullition qui occasionnera par conséquent un déchet double ; veut-elle au contraire atteindre suffisamment les parties intérieures, elle sera obligée de *débouillir* la surface extérieure et augmentera notablement la proportion du déchet qui se fait dans la recherche du *maître-brin*, ou fil continu net ; recherche dans laquelle la fileuse se sert d'un balai de bruyère pour opérer une espèce de brossage de la surface et démêler les couches. Il suffit de rappeler ces conditions du travail le plus avancé pour démontrer ce qu'il laisse à désirer. C'est pour mettre cette opération si délicate à l'abri de moyens si peu précis et si préjudiciables que nous avions imaginé un appareil pneumatique dans lequel les cocons, après avoir été privés d'air, sont pénétrés de l'eau chaude avec la plus grande uniformité dans toute leur épaisseur. Ils sont placés à cet effet dans des sacs en filets, sous une cloche, où le vide a lieu au moyen d'un petit jet de vapeur ; l'eau environnante monte aussitôt. Quelques minutes suffisent à la préparation d'une quantité quelconque qui n'est limitée que par le volume de l'appareil. En ouvrant ensuite les sacs dans la bassine, tous les brins se fixent spontanément aux mailles du filet ; la fileuse peut les épurer en les développant sans le secours d'aucune espèce de balai ni brosse quelconque. On conçoit les motifs pour lesquels nous ne pouvons nous permettre d'en dire davantage sur cet appareil dont le modèle est exposé dans les galeries du Conservatoire ; il fonctionne d'ailleurs pratiquement et en grand chez *quelques* industriels.

L'on peut également supprimer les déchets résultant du dévidage en filant directement sur bobines ; si on ne le fait pas dans l'état actuel du *tirage* de la soie, c'est parce que ce travail auquel l'eau chaude est indispensable faisant adhérer les fils entre eux formerait une espèce de pâte ou de carton, si on ne les séchait avant de les superposer. La disposition en écheveaux sur un dévidoir à claire-voie et à grand diamètre, tournant avec une vitesse considérable pendant que le fil se juxtapose et ne se superpose que de loin en loin, grâce à un mécanisme guide-fil convenablement calculé à cet effet, est une condition qui s'oppose au collage des diverses couches. Mais lorsque le récepteur du fil, au lieu d'être un asple de la forme que nous venons d'indiquer, est une bobine pleine à petit diamètre, la superposition fréquente des couches causerait une adhérence qui rendrait le dévidage ultérieur impossible. Aussi est-il indispensable, toutes les fois que l'on veut filer sur bobines, de faire sécher le fil dans son trajet, entre la bassine des cocons et la bobine qui en reçoit le produit. Mais cette nécessité du séchage a pour conséquence un espace très-grand, des appareils de chauffage assez compliqués, un ralentissement dans les vitesses et par conséquent une diminution de production. Nous nous sommes assuré que l'on peut se dispenser de tous ces moyens et filer sur bobines aussi bien que sur asples, en faisant passer le fil dans un liquide isolant qui neutralise son action adhésive. L'on arrivera certainement à transformer peu à peu le filage en écheveaux en filage sur bobines toutes les fois que le filateur sera en même temps moulinier, et lorsqu'un purgeage ou épuration toute spéciale de la soie ne sera pas indispensable.

Moulinage. — Le travail du moulinage, malgré les apparences surannées de l'outillage de certains établissements du midi de la France, y est cependant plus avancé que dans la plupart des usines de l'Italie et de Manchester, où l'on a apporté des soins et une précision particulière aux machines. Nous ne voulons pas conclure de là que les mauvaises machines font nécessairement de bons produits, et que les machines bien exécutées en donnent d'inférieurs, mais que des opérations simples en apparence, des dévidages, des doublages, l'application successive de la torsion aux fils isolés, puis réunis, qui constituent la spécia-

lité, demandent une expérience, des connaissances spéciales, et surtout des soins auxquels il faut avoir été habitué. La moindre négligence dans la *purge* ou séparation du produit de toute inégalité de grosseur, une différence de tension dans les fils élémentaires, une irrégularité de torsion sur un point donné, sont autant de causes qui peuvent amoindrir sensiblement la qualité et la valeur des fils de soie connus sous les noms de *poils*, *trame* ou *organsin*. Dans les contrées où les bons errements et l'habitude des soins se transmettent de génération en génération, comme dans le midi de la France, et où les consommateurs, comme ceux de Lyon et de Saint-Étienne, se montrent de plus en plus exigeants sur les qualités, une surveillance continuelle et des soins particuliers obvient en quelque sorte à l'infériorité de l'outillage, tandis que dans ceux où, comme en Angleterre et en Italie, l'on veut surtout produire économiquement, l'application de certains principes pour arriver au rapport convenable du tors entre les fils composans, et d'une foule de petits soins accessoires, d'une grande importance néanmoins, deviennent impossibles. Pour arriver à l'apogée du progrès, la *réunion* des machines perfectionnées et des soins devient indispensable; c'est par elle que quelques industriels du Midi, et l'un d'entre eux surtout, se sont créé une réputation européenne.

Filature des déchets de soie. — La transformation des déchets de la soie, composés du *frison* ou déchet du dévidage des cocons de *graines* ou cocons percés, des *bouts* et des déchets au moulinage, etc., a lieu par des moyens et un outillage à peu près identiques à celui qui constitue le mobilier industriel de la laine peignée. Quoique cette spécialité s'alimente d'une matière première que la France fournit en plus grande quantité que les autres contrées industrielles, celles-ci, et entre autres l'Angleterre et la Suisse, viennent la chercher chez nous, pour la transformer et nous la revendre en grande partie sous forme de fils. Cet état de choses assez singulier concernant des produits dont la transformation offre une rémunération suffisante, tient en partie à des conditions commerciales que nous n'avons pas à examiner pour le moment, et en partie à une question technique, à celle des préparations premières qui s'opère par le *décreusage*. Ici se révèle de

nouveau l'importance des faits que nous avons fait valoir précédemment sur la nécessité d'arriver à une désagrégation complète. Dans certaines localités, en Suisse, par exemple, le moyen presque généralement employé pour séparer la gomme naturelle de la soie (25 p. 100 au moins) de la substance pure consiste dans son immersion dans une citerne ou une mare d'eau stagnante, qui détermine la fermentation et des conséquences absolument identiques à celles du rouissage. En France le décreusage des déchets de soie est opéré comme celui des fils moulinés, c'est-à-dire par une ébullition pendant un certain temps dans de l'eau de savon. En Angleterre on arrive au même but par un traitement à la vapeur agissant à haute ou au moins à moyenne pression. Chez certains industriels les déchets sont peignés avant d'être décreusés ; chez d'autres, au contraire, le décreusage précède les transformations mécaniques; cette dernière manière d'opérer est surtout commandée lorsqu'il s'agit des déchets faits au filage des cocons qui ont besoin d'être dégommés pour que le peignage puisse les atteindre. Les déchets des dévidages, moulinages du tissage, etc., sont, au contraire, peignés au préalable. On attribue une certaine supériorité aux produits suisses, non-seulement résultant de la qualité de la matière employée, mais surtout de l'habileté avec laquelle ils épurent et divisent leurs filaments. La production à meilleur marché des Anglais tient aux conditions économiques si connues en leur faveur, et peut-être à une moindre dépense de savon dans la préparation première. L'influence de celle-ci, on le voit, se représente dans le traitement de presque toutes les matières fibreuses [1]. Il est temps que l'industrie s'en préoccupe plus qu'elle ne paraît l'avoir fait jusqu'ici. Qu'elle y apporte une partie seulement de la persévérance et des efforts faits pour arriver aux transformations entièrement automatiques, il en résultera probablement l'un de ces mouvements industriels prodigieux dont certains progrès mécaniques ont été la cause et le point de départ depuis un demi-siècle environ.

1. Le coton même, de toutes les substances textiles la plus pure à l'état naturel, pourrait probablement être transformé avec plus d'avantage et de perfection s'il était épuré par un blanchiment avant de le soumettre aux machines à filer.

SUR L'INVENTION ET L'AVENIR

DES

MACHINES A GAZ COMBUSTIBLES

PAR M. TRESCA.

En publiant les résultats de nos premières expériences sur la machine de M. Lenoir, nous n'avions d'autre but que de fixer l'opinion publique sur les conditions actuelles de fonctionnement de cet ingénieux appareil.

Quelques compétiteurs se sont émus du silence dans lequel nous avons laissé leurs travaux ; ils auraient désiré qu'en nous occupant individuellement de la machine de M. Lenoir, nous eussions indiqué les droits de priorité des uns et des autres à telle ou telle partie de l'invention.

Ils n'ont pas compris qu'il ne saurait en aucune façon nous convenir de nous hasarder dans des questions de droit privatif, toujours si délicates, que les tribunaux ne sauraient la plupart du temps les résoudre qu'au moyen d'une véritable enquête, et en s'appuyant sur les documents recherchés de part et d'autre à grands frais.

Il nous a semblé toutefois qu'en laissant de côté les questions relatives aux droits actuels de tel ou tel inventeur, il ne serait pas sans intérêt pour nos lecteurs de connaître les principales tentatives qui ont, depuis longtemps, été faites pour obtenir de certaines réactions gazeuses le développement de la puissance motrice qui nous est habituellement fournie par la force élastique de la vapeur d'eau.

Nous entrerons dans quelques détails sur les données véritablement historiques[1] et déjà loin de nous ; mais nous aurons soin

1. Nos recherches ont été grandement facilitées par l'ouvrage si remarquable du docteur Schubarth, que l'on doit considérer, à juste titre, comme le livre le plus important de toute bibliothèque technologique.

Sous le titre de *Repertorium der Technischen Literatur die Jahre* 1823 *bis einschl.* 1853 *umfassend*, le docteur Schubarth a publié en 1856 à Ber-

de citer seulement les travaux plus modernes qui pourraient avoir quelque intérêt à débattre, si l'on en croyait les réclamations, avec la machine Lenoir actuelle.

Disons d'abord dans quelles limites il convient de circonscrire cet examen rétrospectif. Nous laisserons de côté l'histoire des machines à air chaud, assez riche déjà pour faire l'objet d'un examen spécial : nous ne nous occuperons pas davantage des machines dans lesquelles la vapeur d'eau est remplacée par la

lin, et en un seul volume grand in-octavo, une table méthodique de tous les articles qui ont paru pendant ces trente années, dans les cent treize publications technologiques les plus connues de la France, de l'Angleterre, de l'Allemagne et de l'Amérique. Pour quelques publications importantes telles que la description des machines et procédés spécifiées dans les brevets pris sous l'empire de la loi de 1791, l'auteur a compris dans son travail l'ouvrage entier jusqu'au moment de mettre sous presse.

Chaque article est désigné par le volume et par la page, et une excellente table en 1153 articles permet de trouver, en un instant et dans le meilleur ordre, tout ce qui a été publié sur un même sujet.

Pour la recherche qui nous occupait, il nous a suffi de consulter à la page 546 l'article *Luftmaschine* (*im Gegensatz von Dampfmaschine*) *einschlissung Æthermaschinen*, machines à air (employées comme machines à feu) y compris les machines à éther.

On jugera de l'utilité de ce travail remarquable par cette indication que l'article *Luftmaschine* seul comprend 135 paragraphes, dont quelques-uns contiennent jusqu'à huit indications de pages et de volume.

Si plusieurs articles ont été publiés sur une même invention, M. Schubarth les cite tous et permet par conséquent de recourir, sans plus de recherche, aux originaux. Et, comme il s'adresse à la fois aux ouvrages écrits en différentes langues, il offre encore aux lecteurs cet avantage de lire immédiatement dans la langue qui lui est la plus familière. Le caractère est d'ailleurs d'une lecture facile et exclusivement romain, même dans les citations allemandes.

Nous nous estimerions heureux que cette note pût contribuer à répandre en France un ouvrage qui ne pouvait être entrepris que par la patiente érudition d'un des savants les plus distingués de l'Allemagne.

Les excellents catalogues de M. Woodcroft pour les patentes prises en Angleterre sont venus, dans ces dernières années, compléter le travail de M. Schubarth, qui n'avait eu à sa disposition que les indications fournies par les différents recueils périodiques de l'Angleterre et non pas les patentes elles-mêmes.

vapeur d'éther ou celle de tel ou tel autre liquide, mais nous maintiendrions dans notre cadre les appareils dans lesquels les gaz dégagés par la combustion de la poudre sont chargés de développer l'action motrice.

On nous objectera peut-être que la machine Lenoir, comme on l'a dit souvent, n'est pas une machine à explosion; sans doute la combustion du gaz d'éclairage n'y détermine pas des explosions aussi brisantes que celle de la poudre à canon, mais nous avons été habitué à considérer comme explosive toute réaction qui se traduit par du bruit; et, tout en félicitant les constructeurs actuels d'en avoir réduit les inconvénients dans une proportion peut-être inespérée, nous ne pouvons toutefois aller chercher la paternité de la machine actuelle que dans les explosions beaucoup plus vives et beaucoup moins efficaces des premiers essais.

L'action mécanique de la poudre a d'ailleurs tous droits de priorité, et l'on ne doit pas s'étonner que lorsqu'il s'est agi d'obtenir de grands effets mécaniques, on se soit adressé à l'agent de destruction le plus énergique.

L'*application* de la poudre *à feu* a en effet précédé celle de la *vapeur*; Papin n'a pensé aux services que pouvait rendre celle-ci qu'après s'être occupé de celle-là; nous remontons dans l'histoire des découvertes lorsque nous voulons remplacer l'introduction, relativement placide, de la vapeur par des explosions de gaz.

Cette marche de l'esprit humain, qui ramène souvent, par des modifications successives, les inventions fort près de leur point de départ, se rencontre d'ailleurs dans un grand nombre de circonstances.

Le point de départ, pour la question qui nous occupe, remonte au dix-septième siècle, en 1678, si l'on admet la priorité en faveur de l'abbé de Hautefeuille, ou en 1680, si l'on fait remonter seulement à cette date l'invention, par Huyghens, de la machine qu'il n'a publiée dans aucun recueil avant 1693.

Nous rencontrons, sur le même terrain, ces deux grands hommes, célèbres tous deux en horlogerie, par l'attribution qui leur a été si souvent accordée et déniée, de l'application du ressort spiral aux montres ou autres pièces portatives d'horlogerie. Le monde savant a pris parti pour Huyghens, les hommes de métier ne reconnaissent que Hautefeuille; mais nous n'avons pas à nous

occuper ici de ce débat, et les dates, en ce qui concerne notre sujet spécial, offrent un degré de certitude plus satisfaisant.

La première date ne saurait faire l'objet d'un doute, puisqu'elle résulte d'un opuscule imprimé sous ce titre : *Manière d'élever l'eau par le moyen de la poudre à canon*, etc. Cet opuscule se trouve dans les œuvres diverses de Hautefeuille ; il est sous forme de lettre, datée du 4 aout 1678[1].

Hautefeuille y décrit deux systèmes différents : le premier se compose d'une boîte rectangulaire dans laquelle on introduit de la poudre dans « une coulisse en manière de bassinet. » Un tube recourbé est fixé à la paroi supérieure de ce vase, et son extrémité inférieure *trempe* dans une nappe d'eau. Lorsque la poudre a librement fait explosion, et que les clapets se sont refermés, la pression atmosphérique chasse l'eau de la nappe dans le tuyau ; après chaque opération, on fait écouler celle qui est parvenue dans la caisse et on recommence l'opération.

On voit que ce n'est pas ici la force d'expansion de la poudre qui détermine l'ascension du liquide, mais seulement le vide partiel qui résulte du refroidissement des gaz restés dans la caisse. La force de l'expansion paraissait tout d'abord trop brisante pour être adaptée directement à la détermination de l'effet à produire, et nous verrons cet abandon de la force motrice principale se renouveler dans presque toutes les premières machines, jusqu'à une certaine époque.

Dans ces conditions, l'appareil ne pouvait théoriquement fonctionner que jusqu'à une hauteur de 10 mètres, et Hautefeuille indique qu'au moyen de la superposition de plusieurs appareils semblables, agissant successivement sur la même eau, il pourrait élever celle-ci à une hauteur quelconque.

On peut opérer, dit-il, avec un autre vaisseau à côté du premier et avec le même tuyau d'aspiration, rendant ainsi sa machine à double effet au moyen de robinets qu'il faut ouvrir et fermer en temps convenable.

1. M. Montgery, capitaine de frégate, a publié dans les *Annales maritimes*, en 1823, sur la guerre et la navigation sous-marine, un mémoire dans lequel le chapitre des machines à poudre renferme des données historiques très-étudiées, et dont les citations nous ont été fort utiles.

Dans son second plan, Hautefeuille paraît avoir eu quelque tendance à utiliser directement l'action première de la poudre : son tube élévatoire vertical est muni de distance en distance de soupapes de retenue; le tube est recourbé à angle droit à la partie inférieure qui plonge dans l'eau; la poudre doit être placée dans une petite branche verticale qui fait suite à la précédente, et une tubulure ouverte est représentée dans le milieu de la branche horizontale. Aucun réservoir n'est nécessaire : la poudre, par son explosion, chasse l'eau en partie dans le tube vertical : une portion encore rentre par l'effet du vide. L'expérience, dit-il, n'a été faite qu'en petit.

L'idée première n'était toutefois appliquée qu'au déplacement d'une colonne liquide, circonstance qui se rencontre également dans les premiers pas de la machine à vapeur.

Cependant l'emploi d'un piston par Huyghens fut sans doute une nouvelle lumière pour Hautefeuille « qui l'avait entendu citer vaguement; il perfectionna cette machine en cherchant à la reconstruire onze ans avant qu'elle fût publiée. Il remplaça les *tuyaux de cuir* dont nous parlerons un peu plus loin par des *soupapes*, et la boîte à vis par un mécanisme semblable à celui de certaines armes qui se chargent très-expéditivement par la culasse. »

Toujours est-il que, dans ses *Réflexions sur quelques machines à élever les eaux* (Paris, 1682, lettre à la duchesse de Bouillon), Hautefeuille exprime la pensée que le meilleur appareil pour l'élévation des eaux devrait être fondé sur le même principe que la circulation du sang, produite, dit-il, par la dilatation et la contraction alternatives du cœur. Sans revendiquer toutefois aucun droit de priorité, il fait allusion à l'idée qu'il avait émise dans sa lettre précédemment citée, et il décrit, par ouï-dire, une expérience faite à l'Académie, dans des conditions telles que sept ou huit laquais suspendus à une corde auraient été enlevés par la descente d'un piston ; au moyen d'un gros de poudre on aurait enlevé de la même façon un poids de 1,000 à 1,200 livres.

L'auteur revient plusieurs fois sur son idée d'une machine pulmonaire, dont la *constitution* eût dû être sans aucun doute bien puissante pour résister à de pareilles pulsations.

Citons en passant cette autre indication d'une pompe à deux leviers, dans laquelle l'élasticité de l'air, en réagissant sur le

liquide introduit dans le même récipient, en chasse l'eau à une hauteur d'autant plus grande que cet air est plus comprimé, ce qui permettrait pour les jets d'eau d'avoir recours à des réservoirs peu élevés.

A ce titre Hautefeuille ne serait-il pas l'inventeur des régulateurs à air comprimé dans les machines hydrauliques?

La machine citée dans la lettre de Hautefeuille est, selon toute probabilité, celle de Huyghens, qui serait alors la seconde en date, et par conséquent antérieure à la mention qu'en fait le chevalier Morland dans la préface de son travail sur l'élévation des eaux, dont la publication remonte à 1685.

« J'ai eu à la fois le bonheur de trouver une manière de piston de corps de pompe toute nouvelle et très-simple, avec un nouveau mouvement cyclo-elliptique, par le moyen duquel on peut très-facilement réduire l'élévation des eaux à la mesure, au poids et à la balance, et la forcer tout d'une suite et sans reprise jusqu'au sommet de la plus haute montagne, à raison de tant de muids par heure ou tant de pouces, selon la force mouvante donnée (soit des rivières ou du vent, soit des chevaux ou des hommes, soit enfin du feu ordinaire ou de celui de la poudre à canon), dans un simple tuyau de plomb couché sur la surface de la terre et suivant toutes ses inégalités et ses détours. » On pourrait croire, d'après cette citation peu importante en elle-même, que déjà en 1685 on se préoccupait de l'utilisation possible de la poudre.

L'idée du piston parait appartenir à Huyghens, quoique la date de sa présentation à l'Académie des sciences ne soit accusée d'une manière précise par aucune publication avant l'année 1693. A cette date on trouve dans un volume in-folio, intitulé : *Divers ouvrages de mathématiques et de physique par Messieurs de l'Académie des sciences*, le mémoire original qui constitue l'invention. Il porte pour titre : *Nouvelle force mouvante par le moyen de la poudre à canon et de l'air*, par M. Hugens de Zulichem.

L'appareil se compose d'un cylindre creux muni d'un piston : une petite capsule est vissée au fond du cylindre : elle contient de la poudre et la mèche allumée qui doit y mettre le feu. A la partie supérieure du cylindre se trouvent deux tubes en cuir librement ouverts ; lors de l'explosion, les produits de la combustion s'échappent en partie par ces tubes, qui se ferment sous

l'action de la pression atmosphérique lorsque les gaz qui y sont restés se refroidissent : le piston descend alors sous cette même influence, et entraîne avec lui un poids plus ou moins considérable attaché à l'extrémité d'une corde qui passe sur des poulies de renvoi.

« On verse un peu d'eau sur le piston, qui doit être arrêté par en haut pour qu'il ne puisse pas sortir du cylindre; on met dans la boîte H un peu de poudre à canon et on serre bien cette boîte par le moyen de sa vis. La poudre, venant un instant après à s'allumer, remplit le cylindre de flamme et en chasse l'air par les tuyaux de cuir C D, qui s'étendent et sont aussitôt refermés par l'air du dehors : de sorte que le cylindre demeure vide d'air, ou du moins pour la plus grande partie. Ensuite le piston est forcé par la pression de l'air, qui pèse dessus, à descendre, et il tire ainsi la corde et ce à quoi on l'a voulu attacher. »

On comprend que des soupapes de la nature de celles-ci ne devaient pas être fort efficaces : aussi le résultat n'a-t-il pas répondu à l'attente de Huyghens, qui n'a jamais pu régler la proportionnalité entre la quantité de poudre à employer et les dimensions du cylindre pour obtenir pratiquement un résultat déterminé.

Quant aux applications il indique l'élévation de toutes sortes de grands poids, celle des eaux des fontaines et la projection des boulets et des flèches avec beaucoup de force, suivant la manière des balistes des anciens.

Il était réservé à Papin de doter l'appareil de Huyghens d'une véritable soupape; et nous en trouvons la preuve dans les actes de l'Académie de Leipsick publiés en 1688 [1], page 497, sous ce titre : *Excerpta ex viri clarissimi, Dyonisii Papini, Mathematum in academia Marpurgensi professoris publici, litteris ad.... de novo pulveris Pyrii usu.*

« J'ai construit une machine qui, vu sa petitesse, ne peut pas produire autant d'effet que celle qui a été prônée dans les journeaux, et qui a été montrée à M. Colbert, mais cependant on

1. C'est dans ce même ouvrage, p. 644, que Papin indique comment on peut transmettre à grande distance la force motrice des cours d'eau : sa note sur cette question, qu'on croirait d'hier, est d'un grand intérêt.

peut assez juger, par notre spécimen, de ce qu'on doit attendre de cette invention. »

Papin décrit ensuite sa machine qui ne diffère de ce que nous avons dit de celle de Huyghens, qu'en ce que la poudre est renfermée dans une capsule formant joint hydraulique, pour s'opposer à la rentrée de l'air, et en ce que les tubes de cuir sont remplacés par une grande cloche ajustée sur un orifice central ménagé dans le piston ; cette cloche se soulève lors de l'explosion et ferme l'orifice, lorsqu'elle descend, d'une manière beaucoup plus parfaite.

C'est d'ailleurs ce que Papin indique en comparant sa machine à celle qui a été montrée à Colbert et qui est, dit-il, de l'invention de Huyghens. Dans l'une comme dans l'autre on ne cherche point à utiliser d'une manière directe l'expansion du gaz, mais seulement le vide qui est la suite inévitable de cette expansion.

C'est ici que les dates sont importantes : La machine à piston, avec soupape, fonctionnant par l'action de la poudre, est d'une date antérieure à 1688 ; la première machine à piston, avec soupape, fonctionnant par l'action de la vapeur d'eau, date de 1690 ; Papin, qui la décrit dans le recueil des actes de Leipsick pour cette année, y a été conduit par ses précédents travaux, et particulièrement par le souvenir de sa machine fonctionnant par l'action de la poudre.

C'est, du reste, ce qu'indique nettement le paragraphe cité par Arago dans sa *Notice sur les machines à vapeur* (page 165), et l'on remarquera que, dans cette machine, la vapeur n'agissait encore que par le vide produit par sa condensation ; tous ces appareils étaient des machines atmosphériques.

Nous ne suivrons pas la machine à vapeur dans ses développements successifs, jusqu'au moment où, entre les mains de Watt, elle devint en quelque sorte le moteur par excellence et d'un emploi général.

Le recueil des patentes anglaises ne nous fournit, pendant cette période, aucune indication sur les machines alimentées par des matières explosives, et tout porte à croire que jusqu'en 1790, c'est-à-dire pendant toute la durée d'un siècle, cette question n'avait fait aucun progrès.

Nous retrouvons quelques indications nouvelles en 1791 et 1794.

A la première de ces dates, le 31 octobre, John Barber prend, en Angleterre, une patente pour la production de la puissance motrice par l'air inflammable. Barber est le premier parmi cette suite nombreuse d'inventeurs qui proposeront pour le même objet l'inflammation de l'hydrogène ou celle de l'hydrogène carboné. Voici la traduction, aussi exacte que nous avons pu la faire, de son texte.

« Mon invention consiste en un vase métallique appelé cornue, disposé de telle manière que (lorsqu'il est chauffé par le feu qui l'entoure) du bois, du charbon, de l'huile, ou d'autres matières combustibles puissent y être introduits et que la fumée ou vapeur qui s'y réunit puisse s'échapper par un petit tube et se rendre en un courant régulier dans un autre vaisseau métallique appelé vaisseau à explosion (*exploder*) par le moyen d'une pompe à gaz et d'un compresseur, lequel tuyau, tournant son orifice vers un autre tuyau qui entre dans le vase à explosion et qui y fait entrer de la même manière une quantité considérable d'air atmosphérique, donne lieu au mélange des deux gaz, qui, ainsi mêlés, prendront feu au contact d'une mèche ou d'une chandelle placée à l'ouverture du vase, et s'échapperont avec une grande vitesse en un jet continu de feu aussi longtemps que le vase sera convenablement alimenté des deux gaz. Le courant sera considérablement augmenté, tant en quantité qu'en vitesse, si l'on ajoute de l'eau dans le vaisseau à explosion par le moyen d'un autre tuyau, cette eau étant d'ailleurs destinée à prévenir la fusion des tuyaux et du vase lui-même sous l'action du renouvellement et de l'intensité de la flamme. Cette eau aussi bien que les gaz sont introduits dans le vaisseau à explosion au moyen d'une pompe... La machine fonctionne par l'action du courant qui s'échappe de la bouche du vase, et elle peut être employée à moudre, etc., etc. » Voilà bien le principe posé de la combustion du gaz ; il agit ici par sa vitesse, la flamme est en quelque sorte continue, l'utilisation n'est pas réalisée par un piston, mais Barber n'en est pas moins pour nous l'inventeur de la machine à gaz.

Thomas Mead et Robert Street, en 1794, s'appuient sur des principes différents. La patente de Mead se borne plus spécialement à une analyse d'effets mécaniques produits par des phénomènes analogues à l'acte de la respiration. L'appareil décrit

n'est qu'un aperçu donné comme exemple. Il se compose de trois pièces cylindriques emboîtées. La pièce intérieure désignée sous le nom de *transferer* est pleine, à l'exception d'un vase en forme d'entonnoir placé à la partie supérieure et formant grille. Les deux autres cylindres qui s'emboîtent l'un dans l'autre enveloppent le *transferer ;* ils communiquent l'un avec l'autre au moyen de deux tubes coudés dont l'un part du sommet du cylindre extérieur et l'autre du bas du cylindre intérieur ; ces deux tubes s'emboîtent aussi l'un dans l'autre comme les tubes d'un trombone. Deux robinets établissent ou suppriment la communication des deux cylindres, soit entre eux, soit avec l'air atmosphérique. Enfin un entonnoir surmonte le cylindre extérieur.

Il résulte de ces dispositions que si les joints sont étanches, et si au moyen de l'entonnoir on met sur la grille du *transferer* un corps qui puisse se transformer en gaz par la combustion, celle-ci produira le recul du cylindre inférieur, qui reviendra ensuite à sa place, si les gaz de la combustion sont susceptibles de se condenser. Dans le cas contraire, on les laisse échapper dans l'atmosphère par le fonctionnement de l'un des robinets.

On obtient, dit l'auteur, des résultats analogues en échauffant et en refroidissant successivement l'appareil. Ce principe est véritablement celui des machines à déplacement d'air qui ont été proposées dans ces derniers temps.

La patente de Street, du 7 mai, n° 1,983 [1], constitue une véritable machine ; son titre est caractéristique : *Production d'une force de vapeur inflammable par le moyen de liquide, d'air, de feu et de flamme pour mettre en mouvement les machines et les pompes.* Comme Mead, il n'emploie pas les gaz tout formés, mais il fait tomber, sur le fond d'un cylindre, de l'huile de pétrole, de térébenthine ou autres matières analogues pouvant se réduire en vapeur : un piston solide de fer est soulevé, et dans sa course il fait entrer de l'air dans le cylindre ; ce piston se soulève encore, et une longue tige à laquelle il est articulé soulève en même temps le piston d'une pompe. L'action est alternative, mais la réalisation et le fonctionnement de cette action auraient présenté de grandes difficultés.

1. *Repertory of arts and manufactures*, t. I, p. 188.

Tels étaient les procédés, lorsque Lebon, en France, prit son brevet principal du 28 septemble 1799, pour de *nouveaux moyens d'employer les combustibles plus utilement, soit pour la chaleur, soit pour la lumière, et d'en recueillir divers produits*. Dans ce brevet principal, qui se réduit d'ailleurs à quelques lignes, on trouve la description d'un fourneau rudimentaire propre à la fabrication du gaz, et ce n'est que dans le certificat d'addition du 25 août 1801, cité par nous dans notre précédent article sur les machines Lenoir, que Lebon propose l'emploi du gaz comme force motrice. Ici l'on ne se borne plus à des vues plus ou moins ingénieuses : l'idée est complétement matérialisable, on croirait qu'elle est réalisée.

« Je vais maintenant, dit Lebon, indiquer les moyens de recueillir cette force expansive, d'en modérer l'énergie, et de ne les déployer qu'à mesure et en proportion des besoins et de la solidité des machines que l'on pourra employer. » On sent déjà l'homme sûr de lui-même, possédant à fond toutes les ressources de son invention. « Dans le cylindre *a* s'opère la combustion du gaz inflammable qui est introduit par le tuyau *b*, tandis que l'air atmosphérique nécessaire pour la combustion y est refoulé par le tuyau *c*. Le cylindre *a* reçoit les vapeurs produites par cette combustion ; son piston *d* intercepte toute communication entre les parties *e* et *f*... La tige du piston se partage en dehors du cylindre en trois autres tiges...; l'une d'elles fait mouvoir le piston *l* d'une pompe à air atmosphérique à double effet ; une autre fait mouvoir le piston *m* d'une semblable pompe à gaz inflammable ; la troisième enfin est destinée à s'appliquer aux résistances que l'on se propose de vaincre. » Toute la machine est dans ces mots.

Quant à l'inflammation, on pourrait disposer une machine électrique qui sera mue par celle à gaz, de manière à répéter les détonations dans des instants dont l'intermittence pourrait être réglée et déterminée.

Les grands principes sont dès lors posés et nous verrons cependant combien de tentatives ont encore été faites, combien d'ingénieux détails restaient encore à réaliser. On nous permettra toutefois de n'accorder que peu de place à chacun dans cette longue énumération des machines à inflammation de gaz et des machines à inflammation de poudre, que le gaz paraît vouloir

détrôner : nous rencontrerons encore, dans cet historique, plus d'un nom célèbre.

A partir du commencement du dix-neuvième siècle, la machine à vapeur se développe avec une prodigieuse rapidité : elle devient le point de comparaison obligatoire de toutes les inventions de machines motrices nouvelles ; le cylindre et le piston entrent comme organes essentiels dans la plupart des combinaisons; mais on est bien loin encore, lorsqu'il s'agit d'une machine à gaz, de le prendre tout fabriqué sur la canalisation de l'éclairage public : les carbures d'hydrogène qui servent à l'alimentation des machines sont souvent obtenus directement par l'action de la chaleur sur certaines matières combustibles et par conséquent fabriqués dans l'appareil, souvent dans le cylindre même.

1806. — La première machine que nous rencontrons dans l'ordre chronologique est celle de MM. Niepce.

« MM. Niepce [1], au lieu de faire détoner la poudre à canon dans un cylindre à piston, imaginèrent d'y lancer successivement, à l'aide d'un soufflet, du lycopode; ou, à défaut de cette substance, une composition de houille et de résine pulvérisées, qui prend feu en passant devant la flamme d'une lampe et qui dilate l'air contenu dans le cylindre, dessous le piston. »

« Beaucoup d'expériences furent faites avec cette machine, que les inventeurs ont nommée pyréolophore; et, suivant le rapport présenté à l'Institut par Berthollet et Carnot [2], la pression exercée sur un piston de 3 pouces carrés a fait équilibre à un poids de 114 livres, la capacité intérieure étant de 21 pouces cubes, et la consommation du combustible de un gramme, dont on présume qu'un tiers seulement avait pris feu. » Dans une autre expérience, « un bateau, du port de 9 quintaux a remonté la Saône, par la seule action du pyréolophore, avec une vitesse plus grande que celle du courant, la quantité de combustible étant d'environ 120 grammes et le nombre des coups de piston de 12 à 13 dans le même temps. »

Le même rapport conclut ainsi : « Les commissaires pensent

1. *Annales maritimes et coloniales*, 1823, t. II, p. 347.

2. Rapport du 15 décembre 1806, imprimé en 1807 dans les *Mémoires de l'Institut*, 1er semestre.

donc que cette machine est ingénieuse, qu'elle peut devenir très-intéressante par ses résultats physiques et économiques et qu'elle mérite l'approbation de la Classe. »

Nous l'avons surtout mentionnée par la raison qu'elle fit à cette époque une grande sensation. Celle de M. de Rivaz date à peu près de la même époque.

1807. — M. de Rivaz[1], brevet n° 731, du 30 janvier 1807, pour la *manière de se servir de la déflagration des gaz inflammables à l'effet d'imprimer le mouvement à diverses machines et de remplacer la vapeur de l'eau.*

Machine à simple effet aspirant successivement les gaz qui doivent détoner, au moyen d'un robinet à plusieurs crans, dont l'un des orifices communique avec une vessie remplie d'hydrogène provenant de la distillation des végétaux. L'inflammation peut se communiquer à la charge par quatre moyens principaux.

1° Par la chute de quelques grains de poudre sur un fond entretenu rouge, 2° par la compression de l'oxygène, 3° par le gaz hydrogène phosphoré, 4° et par l'étincelle électrique ou galvanique.

La figure jointe au brevet montre l'application de cette machine à un petit chariot à 4 roues.

On remarque particulièrement dans la description l'inflammation par l'hydrogène phosphoré, qui est encore proposée aujourd'hui pour le même objet.

1810. — Henri[2], machine à battre les pieux, dans laquelle le mouton est lancé par l'action de la poudre. Cet appareil n'a pu être essayé que dans de petites dimensions et il ne saurait être indiqué comme une des applications de l'explosion de la poudre aux machines motrices, mais la force d'expansion des gaz y est directement utilisée pour la production du travail spécial que l'on a en vue.

1823. — La machine de Samuel Brown a fait grand bruit à

1. Description des machines et procédés spécifiés dans les brevets pris sous l'empire de la loi de 1791, tome IX, page 132.

2. *Annales des arts et manufactures*, t. XXXVII, p. 311 et 312.

une certaine époque : les journaux technologiques de l'Angleterre et de l'Allemagne s'en occupèrent comme on s'occupe en ce moment des machines à gaz les plus récentes, et cependant nous pouvons voir par la spécification de la patente de Brown que cette machine était encore fort éloignée, quant à ses résultats, de satisfaire à toutes les conditions d'un bon travail.

La patente qui porte le numéro 4,874 et qui est datée du 4 décembre 1823 est prise pour une *machine dans laquelle on développe une puissance motrice par l'action du vide.*

« Mon invention consiste dans la combinaison suivante : Du gaz inflammable est introduit par un tuyau dans un cylindre ou vase ouvert. Une flamme placée près de l'extérieur du cylindre brûle constamment, et, venant périodiquement au contact, enflamme le gaz qui s'y trouve. Le cylindre est alors fermé étanche, et un obstacle s'oppose à la communication entre la flamme et le gaz que contient le cylindre.

« Le gaz continue à affluer pendant un temps très-court dans le cylindre, puis est arrêté. Pendant ce temps, par sa combustion, il agit sur l'air du cylindre, et en même temps une partie de l'air raréfié s'échappe par une ou plusieurs soupapes, et un vide est ainsi produit. Le vase ou cylindre est maintenu froid par de l'eau. »

Tout en indiquant les applications générales du vide produit, le brevet en décrit particulièrement trois. L'une consiste à faire tourner une roue hydraulique; la deuxième sert à l'élévation de l'eau; la troisième au mouvement d'un piston.

Ce dernier appareil est l'objet d'une description plutôt sommaire que réellement descriptive et par conséquent se refuse à l'analyse.

C'est toujours la flamme permanente qui, au moment voulu, allume les gaz mélangés dont la déflagration produit *sous* le piston un vide qui met en jeu la pression atmosphérique *sur* ce même piston.

Les principales modifications de la machine de Brown ont été décrites dans le *Mechanic's Magazine*, tome II, pages 360 et 380 et tome III, page 178. Toutes ces dispositions rentrent absolument dans le principe d'Huyghens. L'une de ces machines a fonctionné à Paris avec un médiocre succès.

1823. — C'est à cette époque que Faraday fit connaître à la Société royale de Londres ses importants travaux sur la condensation et la solidification de certains gaz, et plus particulièrement de l'acide carbonique.

Une foule d'inventeurs songèrent aussitôt à utiliser ces propriétés nouvelles pour produire un travail moteur.

Chaussenot, en France, dans son brevet du 7 octobre 1824 ; Brunel, en Angleterre, dans sa patente de 1825, textuellement reproduite en France par le brevet Andrieux, du 5 mai 1826, ne peuvent être cités ici que comme se rattachant indirectement à notre sujet. Il n'y a dans ces machines ni combustion, ni explosion ; les gaz permanents dégagés de certains liquides s'y comportent comme la vapeur, et si un simple refroidissement ne suffit plus pour en opérer la condensation, les réactions chimiques interviennent pour produire le même résultat.

L'acide carbonique, le gaz ammoniac, et jusqu'à l'acide chlorhydrique ont été successivement proposés pour le même objet.

1826. — Patente de Herskine Hazard, du 12 août 1826, pour une *méthode de préparer les mélanges explosifs et de les employer comme force motrice dans les machines.*

Les mélanges explosifs sont préparés en faisant circuler l'air et les matières à mélanger dans de nombreuses chicanes qui sont destinées à rendre leur composition bien homogène. Les liquides indiqués sont particulièrement formés avec de l'alcool, de l'essence de térébenthine ou autres substances analogues.

On introduit d'abord de l'air dans le cylindre, puis dans la dernière partie de la course du piston, les gaz combustibles ; on enflamme le tout un peu avant que cette course soit complète, et l'on refroidit avec de l'eau pour obtenir le vide en vertu duquel la machine doit fonctionner.

La machine de Erskine Hazard se rapproche, autant par son objet que par sa date de celle de Brown ; elle n'utilise que le vide ; mais les gaz combustibles sont préparés artificiellement en saturant l'air des principes volatils de certains hydrocarbures.

1826. — C'est à peu près à la même époque que parut, sous les

noms de MM. Galy-Cazalat et Dubain [1], un moteur à gaz hydrogène remplaçant les machines à vapeur.

Une caisse doublée de plomb est disposée pour faire réagir de l'acide sulfurique sur du zinc; l'hydrogène formé se réunit en haut de cette caisse, et est partiellement introduit dans deux vases, où il se mélange avec de l'air, et au sortir desquels il s'enflamme en produisant un jet rapide, dont la réaction est employée à faire manœuvrer un bateau.

Il n'y a pas de piston dans cette machine, à la description de laquelle l'auteur ajoute les considérations suivantes :

« Cette disposition mécanique nouvelle est éminemment propre à la construction d'un brûlot insubmersible et même sous-marin; ce brûlot, de dimension très-petite, serait semblable à un gros poisson de fer, de la structure la plus favorable pour fendre facilement l'eau. La carène doit être assez forte pour recevoir sur chaque flanc des pièces courtes et immobiles d'artillerie; l'intérieur serait éclairé par quatre grandes et fortes lentilles enchâssées hermétiquement sur la surface du pont autour d'un cylindre portant des marches communiquant avec le dehors, et se fermant à volonté; ce cylindre servirait en même temps de mât pour une voile latine que l'on manœuvrerait de l'intérieur; enfin une cale à double fond serait destinée à rendre la chaloupe plus légère ou plus lourde selon que l'on ferait sortir ou qu'on laisserait entrer de l'air. »

Sauf l'application, qui est nouvelle, la machine de M. Galy-Cazalat, employée comme machine motrice d'un petit bateau qu'il conduisait lui-même, rappelle en partie les idées de la patente de Barber.

En 1827 parut dans le *Mechanic's Magazine*, tome V, page 385, une lettre de Cheverton, sous ce titre : *New gaz power engine*. Cette lettre est surtout remarquable en ce qu'elle indique de la manière la plus nette les avantages des moteurs à gaz.

« Monsieur, depuis longtemps un désiratum des mécaniciens pratiques consisterait à posséder une machine motrice qui fût

1. Brevet d'invention n° 3,333, du 10 novembre 1826, et certificat d'addition du 30 mai 1827, *Description des machines et procédés*, t. XXXIV, p. 164.

toute prête à fonctionner, qui marchât sans une dépense trop grande, et sans perte de temps de préparation. Ces qualités la rendraient applicable dans toutes les circonstances où l'on n'a besoin que d'une faible puissance, d'une manière discontinue. Ces cas sont si nombreux et ce que l'on pourrait éviter de demander à la force musculaire de l'homme serait si considérable, que les avantages qui en résulteraient pour la société seraient encore incalculables, si la dépense était même beaucoup plus grande qu'avec la vapeur. » C'est à peine si l'on dirait aussi bien aujourd'hui.

Quant à la machine, elle est à double effet, sans piston, et elle agit par la vaporisation et la condensation de certaines substances facilement condensables, comme l'acide carbonique, la chaleur nécessaire à la vaporisation étant transmise par l'intermédiaire de bains d'huile. Nous n'avons mentionné la lettre de Cheverton que pour la netteté de ses considérations générales.

1833.—Machine de Lemuel Wellman Wright, patentée le 16 décembre 1833, sous le n° 6,525.

« Mon procédé consiste dans l'arrangement de moyens par lesquels certains organes constituent une machine à explosion dans laquelle des gaz inflammables, mélangés avec de l'air atmosphérique, sont enflammés dans un espace clos pour développer une force d'expansion. Cette force agit sur un piston moteur, dans un cylindre, de la même manière que la vapeur dans les machines analogues[1]. »

La machine est verticale, à un seul cylindre, à double effet, sans balancier, et par conséquent à action directe. L'inflammation est produite par la flamme d'un bec de gaz.

Un régulateur à boules est employé pour modifier la composition du mélange explosif par son action sur deux petites pompes d'alimentation. La richesse du mélange en hydrogène diminue si la marche s'accélère, de manière à diminuer le travail moteur toutes les fois qu'il devient prépondérant.

Cette machine est à notre point de vue d'un très-grand intérêt, et c'est la même qui a été brevetée en France sous le nom de M. Lowe, le 4 décembre 1834, avec cette introduction : L'in-

1. *London journal, conjoined series*, vol. V, p. 137.

vention dont il s'agit, à l'aide de laquelle certains agents connus peuvent être employés pour produire un moteur et la manière d'utiliser le moteur ainsi obtenu consistent dans la combinaison de certaines parties mécaniques formant une machine à explosion, dans laquelle machine des quantités données de gaz inflammable, mêlées avec une portion suffisante d'air atmosphérique, doivent être enflammées dans une chambre close, à l'effet de produire une force expansive agissant sur un piston qui s'élève et s'abaisse dans un cylindre, de la même manière que la vapeur ordinaire est ordinairement employée pour activer des machines en général.

L'idée d'appliquer le modérateur à modifier, suivant la quantité de travail demandée à la machine, la composition d'un mélange explosif, est certainement très-remarquable. Elle correspond, mais d'une manière plus ingénieuse et plus complète, à l'invention de la détente variable dans les machines à vapeur.

1834. — Machine de Rodgers, dans laquelle les gaz, dégagés par le choc intermittent d'un marteau sur de la poudre fulminante, agissent par leur pression sur un piston moteur.

1838. — Machines d'Ador [1], patente n° 7,547, pour divers moyens de produire ou d'obtenir de la force motrice.

De l'hydrogène est fabriqué avec un acide et un métal, il s'enflamme avec de l'air dans une chambre spéciale au contact de fragments d'éponge de platine, et la force motrice développée est dirigée sur une machine convenablement disposée pour l'utiliser.

L'auteur donne le dessin de l'appareil seul dans lequel les réactions se reproduisent, mais non de la machine motrice qui peut être quelconque.

Les vases employés sont doublés de plomb pour obvier à l'action des acides sur les parois.

1838. — Machine Madol [2], brevet du 12 septembre 1838, pour un *moteur marchant par le gaz hydrogène enflammé*.

1. *Repertory of arts*, nouvelle série, vol. V, p. 153.
2. *Brevets d'invention*, t. XLIII, p. 225.

De l'hydrogène est produit, dans une capacité close, par l'action de l'acide sulfurique sur le zinc, ou de l'acide carbonique par celle du même acide sur la craie ; dans le premier cas le gaz est enflammé dans une seconde capacité par du platine en éponge, et la force expansive, déterminée par son explosion, se transmet à un appareil moteur.

Dans le dessin qui accompagne le texte, l'auteur représente une roue à réaction, pouvant, par le fonctionnement de bras, courbés dans un sens ou dans l'autre, imprimer leur mouvement de rotation aux rames ou pagaies d'un bateau.

Voici d'ailleurs quelques extraits de la description sommaire :

« Un producteur de gaz, un récipient de ce même gaz, et une capacité dans laquelle il s'enflamme au fur et à mesure de son introduction dans cette capacite, soit par l'éponge de platine, soit par l'étincelle électrique, pour de là être conduit comme un fluide moteur dans toute capacité où sa force élastique agisse comme puissance motrice. En effet, on conçoit que n'importe le système de production du gaz hydrogène, soit à l'égard de l'appareil, soit à l'égard des moyens chimiques, n'importe le mode de son inflammation, le principe sera toujours le même, du moment que le gaz hydrogène produit sera introduit dans une capacité où il s'enflammera, pour ensuite servir d'agent moteur à un corps quelconque. »

Rien de nouveau dans cette description, si ce n'est peut-être le double système de bras à réaction, agissant respectivement en sens contraires suivant les besoins.

1839. — Machine de Alexander Cruskslanks, patente n° 8,141, 3 juillet 1839, pour des *moyens de fabrication de certaines substances inflammables, et d'application de la chaleur et de la lumière qui en proviennent à divers usages* (*emploi de la chaleur du bitume liquide pour faire mouvoir une machine par l'expansion de l'air*).

Nous avons vu que le principe des machines à air chaud avait été proposé par Mead; Montgolfier et Dayme avaient également pris une patente en 1816 pour une machine fonctionnant par l'expansion et la contraction qui résultent des différences de température.

Crusksianks détermine l'élévation de température par des

combustibles qui brûlent dans l'air moteur lui-même, et son invention tient par cette raison une place intermédiaire entre les machines à air chaud, les machines à gaz, et les machines à fumée.

Il décrit d'abord ses moyens de préparation, et sa méthode consiste à appliquer la chaleur obtenue de la combustion du coaltar et autres combustibles liquides (produits des méthodes précédentes) à l'expansion de l'air pour produire une force motrice. Dans ce but, les produits de la combustion viennent chauffer l'air introduit par un ventilateur et produire son expansion.

Le but spécial de l'inventeur est d'éviter, par l'emploi d'un combustible liquide, l'introduction des cendres dans le corps de pompe. Son invention pourrait être à bon droit considérée comme le point de départ des machines qui se sont produites dans ces derniers temps, et dans les cylindres desquels les gaz de la combustion eux-mêmes déterminent la pression motrice.

1840. — Machine Talbot, patente n° 8,650, du 1er octobre 1840. Trois dispositions différentes sont indiquées dans la spécification de la patente.

1° Un vase à moitié rempli d'eau acidulée est muni d'un double système de conducteurs provenant d'une pile; les fils inférieurs plongent dans l'eau et la décomposent; les fils supérieurs enflamment le mélange détonant qui, par son explosion, soulève un piston placé dans un cylindre, au-dessus du vase. Les contacts sont commandés par des touches disposées convenablement sur l'arbre de la machine motrice, qui recueille le travail exercé sur le piston.

2° La seconde disposition constitue une sorte de machine électro-magnétique.

3° La troisième fonctionne par l'échauffement et le refroidissement successifs d'une substance renfermée dans un tube et agissant sur un piston par l'intermédiaire d'un liquide. L'acide carbonique solide est particulièrement indiqué pour produire cette action.

1841. — Machine de MM. Demichelis et Monnier[1], brevetés

1. *Mechanic's Magazine*, t. XXXIV, p. 319.

n° 5,767, 7 mai 1840, pour un agent électro-moteur servant de force motrice.

L'hydrogène est fabriqué dans l'appareil par un moyen quelconque. Une pompe double l'introduit dans un gazomètre avec deux fois son volume d'air atmosphérique. Un piston agissant dans un cylindre à double effet aspire le mélange dans le cylindre moteur.

« Aussitôt l'introduction du mélange de gaz la communication entre le volume entré et le tuyau d'ascension se ferme au moyen d'un robinet et l'étincelle électrique l'enflamme.

« La dilatation qui s'opère par la décomposition des deux gaz chasse le piston comme le ferait la vapeur.

« Dans les localités où le gaz courant d'éclairage se fabrique, il peut être substitué au premier, soit qu'on l'obtienne par la houille, la résine ou toute autre substance.

« Dans le cas où on emploierait ce dernier gaz la cuve servirait de réservoir d'alimentation [1]. »

L'idée de l'emploi du gaz courant vient ici s'ajouter aux principes déjà posés par les précédents inventeurs, et Demichelis doit occuper parmi eux un rang distingué. La pensée de cette application nous est aujourd'hui familière et nous avons peine à croire qu'elle ne se soit produite que plus de quarante ans après la première machine de Lebon.

1841. — Machine de James Johnston [2], patente n° 8,041, du 8 février 1841.

La description de Johnston nous a paru si intéressante que nous en donnons une traduction presque littérale.

« Comme forme, ma machine à gaz ressemble à une machine à vapeur; les seules différences, quant à la construction, étant relatives au cylindre et aux soupapes, je décrirai la différence entre les deux cylindres, après avoir indiqué comment ma machine fonctionne. Ma machine fonctionne comme suit : supposons que le piston soit au bas du cylindre; de l'oxygène et de l'hydrogène sont introduits sous le piston; la soupape d'admission des gaz est alors fermée, et ceux-ci sont enflammés par l'un des

1. *Brevets d'invention*, t. XLIX, p. 227.
2. *London journal, conjoined series*, t. XXI. p. 450.

moyens ordinaires. Aussitôt que l'explosion a lieu le piston est chassé jusqu'au sommet du cylindre; mais quand l'explosion a cessé, il s'est formé un vide au-dessous du piston. Ceci résulte de ce que les deux gaz (oxygène et hydrogène) se sont unis pour former de l'eau. Tout l'espace compris au-dessous du piston, qui était d'abord rempli par l'expansion des gaz, est maintenant vide, à l'exception de la petite quantité d'eau qu'il renferme. Ainsi le piston est chassé jusqu'au sommet du cylindre par l'explosion des gaz, et un vide s'est formé au-dessous de lui par la condensation de ces mêmes gaz. Le piston est ensuite chassé en sens inverse par les gaz qui sont introduits et enflammés au-dessus de lui; un vide se forme au-dessus; et de cette manière la machine continue à fonctionner, tant que les gaz sont introduits et enflammés alternativement au-dessus et au-dessous du piston, chaque explosion faisant rétrograder le piston dans le vide formé par l'explosion produite. »

Nous passons les détails relatifs à la distribution; mais nous reproduisons en leur entier les explications données à la suite de la description.

« Comme il est essentiel, pour la validité des droits réclamés dans une patente, que leur objet soit neuf et original, j'indiquerai brièvement en quoi mon invention diffère de celles qui ont déjà été proposées dans la même direction. Plusieurs projets ont été faits de machines qui seraient mises en mouvement par l'explosion des gaz; elles peuvent toutes, suivant moi, être classées en deux catégories :

1° Celles qui fonctionnent simplement par la force explosive;

2° Celles qui fonctionnent à la fois par la double action de la formation et de l'explosion.

« Mon invention ne se rapporte pas aux machines de la première catégorie, puisque je ne réclame pas le droit exclusif d'employer la force explosive des gaz oxygène et hydrogène, qui est connue depuis longtemps, non plus que l'application de cette force au fonctionnement d'une machine.

« Elle n'a que faire avec les machines de la seconde, puisque je n'emploie pas et que je ne cherche pas à utiliser la force de formation des gaz pour mettre ma machine en mouvement. Une machine de la deuxième catégorie ayant donné lieu dernièrement à une patente, dans laquelle on réclame l'usage exclusif des forces

développées par la formation et l'explosion des gaz mêmes que j'emploie, j'ai à faire comprendre la différence entre les deux systèmes. La patente dont je parle est celle de William Henri Fox Talbot..., pour une *méthode de développer de la force motrice par la naissance et la combustion de l'explosion des gaz (oxhydrogène ou autres gaz inflammables), ladite production étant déterminée par la décomposition d'un liquide par la pile, et la combustion ou l'explosion étant également produite par un semblable courant.*

« Il ressort de la description qu'il donne de sa machine qu'il utilise seulement les efforts développés par le gaz dans les périodes de naissance et d'explosion. Il ne réclame pas l'emploi du vide, il n'indique pas même qu'un vide se doive former par suite de l'explosion d'un certain volume d'oxygène et d'hydrogène, ou tout au moins que ce vide puisse utilement servir au fonctionnement de sa machine, puisqu'il dit au contraire que celle-ci peut fonctionner avec tout autre gaz inflammable; aucun autre gaz inflammable ne produit un vide après l'explosion, ou tout au moins un vide tel qu'il pût être employé à faire mouvoir ces deux machines.

« Je me réserve d'utiliser la condensation dans les machines qui emploient l'explosion du gaz oxhydrogène; ou, en d'autres termes, je me réserve l'emploi simultané des propriétés d'explosion et de condensation que possèdent certaines proportions de gaz oxygène et hydrogène lorsqu'ils se combinent. La meilleure proportion est celle d'environ une partie d'oxygène pour deux parties d'hydrogène. Je ne me restreins d'ailleurs à aucune forme particulière de machine. »

Cette variété dans le mode de fonctionnement des diverses machines est vraiment curieuse : le vide d'abord est seul utilisé; bientôt on croit pouvoir maîtriser les effets de l'explosion et l'on s'en sert presqu'à l'exclusion des phénomènes subséquents. Johnston invente véritablement la machine à gaz à condensation; il recueille tous les effets; et l'on s'étonne que cette utilisation meilleure n'ait été recherchée dans ces dernières années que par un petit nombre de constructeurs.

1843. — Machine Selligue, brevet [1] n° 12,284, 24 mai 1843,

1. *Brevets d'invention*, t. XCI, p. 122.

pour des *appareils physico-mécaniques à vapeur, servant à remplacer les machines à vapeur, et principalement celles d'une grande puissance, employées pour la marine, ainsi que les machines hydrauliques.*

« Mon invention consiste dans l'emploi de la détonation des gaz comme force motrice et principalement du gaz hydrogène mélangé avec la quantité d'air atmosphérique nécessaire pour le rendre détonant ; c'est donc sur l'emploi du gaz hydrogène, soit pur, soit avec ses combinaisons, *tel qu'on l'obtient au meilleur marché*, rendu détonant par son mélange avec l'air atmosphérique, que je base ma description, les autres gaz applicables au même objet se comportant suivant les mêmes lois que l'hydrogène et étant généralement plus dispendieux. »

A la suite du préambule, M. Selligue indique comment il appliquerait son système à la propulsion d'un navire : « Je place à l'arrière près du gouvernail et au-dessous de la flottaison deux ou quatre récipients à explosion. Le nombre, le diamètre, la longueur, la forme de ces récipients ne sont pas limités et se modifient selon l'application de la force. »

Dans une première disposition, à une seule pompe, c'est cet appareil accessoire qui est chargé d'introduire l'hydrogène dans le récipient, qui a été déjà rempli d'air par un soufflet après l'explosion précédente ; l'inflammation est déterminée par l'intermédiaire d'une éponge imbibée d'alcool.

Dans la seconde disposition « il faut deux corps de pompe, un pour l'air atmosphérique, l'autre pour le gaz hydrogène ; l'un, d'une capacité *sept ou huit fois plus grande que l'autre ;* il s'agit donc d'introduire dans le récipient d'explosion l'air et le gaz que contiennent ces deux pompes. » L'eau qui s'introduit dans le récipient après l'explosion chasse alors les résidus gazeux qui nuiraient à l'opération suivante.

La dernière disposition comporte une troisième pompe destinée à retirer les gaz restant après chaque explosion.

« Les fonctions mécaniques se réduisent :

« 1° A vider les gaz restant après l'explosion ;

« 2° A introduire l'air atmosphérique et le gaz hydrogène en alternant d'un récipient à l'autre ;

« 3° A tourner le robinet d'explosion, ce qui le ferme, met sa flamme en contact avec le gaz détonant et détermine l'explosion :

« 4° A rouvrir le robinet aussitôt l'explosion faite et ainsi de suite, en alternant les explosions d'un récipient à l'autre.

« Toutes ces fonctions ainsi réglées sont si simples qu'il n'est nécessaire, je pense, que de les indiquer; pour les obtenir on peut employer des hommes aidés d'un volant pour régulariser le mouvement... Les détonations se suivent avec la même régularité que les coups de piston d'une machine à vapeur. »

Dans ces diverses machines les gaz n'agissent sur aucun organe solide, mais sur l'eau ambiante; c'est seulement dans son premier certificat d'addition que Selligue propose l'emploi de pistons-rames... disposés de manière à présenter à l'action de l'eau toute leur surface pendant la course qu'ils parcourent par l'explosion des gaz et des vapeurs.

Quant au second brevet d'addition, il est relatif à diverses conditions au moyen desquelles l'auteur « profite non-seulement de l'expansion des gaz, mais encore du vide qui se fait par la condensation. »

Là encore absence de cylindre moteur, muni de piston, et plus ou moins analogue à celui des machines à vapeur.

Selligue est en retard sur Johnston, mais son appareil est cependant plus automatique.

1845. — Machine Perry[1].

« La force motrice est développée par l'expansion qui résulte de la combustion de la vapeur d'essence de térébenthine, ou d'autres liquides volatils et inflammables, ou de gaz et de vapeur combinés provenant de la distillation de la térébenthine, de la résine, ou d'autres substances, de l'*hydrogène carboné* ou d'autres gaz inflammables, au moyen de l'air atmosphérique, dans un cylindre semblable à ceux de la machine à vapeur.

« Il revendique surtout l'arrangement particulier de la pompe à air, du réservoir, de la cornue, du régulateur à air et des robinets qui règlent l'admission de l'air atmosphérique dans la boîte de distribution, arrangement au moyen duquel il peut déterminer l'admission en proportions convenables, et produire, dans le cylindre, une pression excédant de très-peu celle de

1. *Mechanic's Magazine*, t. XLII, p. 335. — 1845.

l'atmosphère au moment de l'ouverture de l'un des orifices d'ignition. »

1845. — Machine de Reynolds[1], patente du 24 mai 1845, pour *perfectionnements dans les moyens de développer la puissance motrice pour le fonctionnement des locomotives et autres machines.*

Deux cylindres verticaux sont munis de pistons; ils communiquent d'une part avec un réservoir d'alimentation contenant un mélange d'air et d'hydrogène plus ou moins comprimé, d'autre part avec un réservoir pour le vide ou sorte de condenseur, qui aide à l'action de la machine après l'explosion. L'action, dit-il, est toute semblable à celle des machines à condensation. L'inflammation se fait par une pile.

1846. — Patente Talbot, du 7 décembre[2].

Machine fondée sur les mêmes principes que celle de 1840, avec cette différence que la matière détonante est le coton-poudre, distribué dans les cavités d'une tige qui traverse le cylindre et qui se déplace après chaque explosion.

Nous n'avons pas la prétention, dans la notice qui précède, d'avoir signalé toutes les applications qui ont été proposées du principe de la combustion des gaz; mais nous avons avec soin recueilli toutes les données qui nous ont paru intéressantes et de nature à jeter une nouvelle lumière sur la question. Les brevets ultérieurs constituent encore des droits privatifs envers lesquels nous ne voulons à aucun titre établir de comparaison; nous nous bornerons donc à une simple table, sans doute fort incomplète, les machines à gaz étant souvent indiquées dans les catalogues comme nouvelles machines motrices, sans autre désignation qui pût servir à les distinguer des machines à vapeur et surtout des machines à air chaud. On verra par le nombre

1. *The civil Engineer and Architect's journal*, t. XIII, p. 225.
2. *Repertory of arts*, t. X, p. 25.

des brevets pris que la question n'a pas cessé d'occuper l'attention publique pendant ces quinze dernières années.

Tricaud. — Brevet du 15 avril 1851. — Suppression de la vapeur par la dilatation de l'air atmosphérique inflammable.

Bolton. — Patente du 1[er] mars 1853. — A new mode of obtaining and using power by explosion of gases.

Barsanti et Matteucci — Patente du 13 mai 1854. — Mode of applying the explosion of the gases as a motive power.

Balestrino. — Patente du 7 mai 1855. — Obtaining motive power by the aid of explosive gases.

Torassa. — Patente du 31 juillet 1856. — Obtaining motive power by the aid of explosive gases.

Newton. — Patente du 11 octobre 1856. — A new gazeous liquid to be used in generating motive power.

Anquez Minard. — Brevet du 9 mars 1857. — Appareil à faire le vide instantanément à l'aide de tous les gaz inflammables mélangés à l'air atmosphérique, et particulièrement avec le bicarbure d'hydrogène.

Rousselot. — Brevet du 20 juin 1857. — Moteur aéro-électrique.

Newton. — Patente du 23 juin 1857. — Generating or obtaining motive power.

Degrand. — Brevet du 1[er] juin 1858. — Machines motrices.

Hugon. — Brevet du 11 septembre 1858. — Application aux machines à vapeur en général d'un générateur permettant d'utiliser fructueusement la force produite par l'explosion résultant de la combinaison de l'hydrogène pur ou des différentes espèces de gaz de l'éclairage lorsqu'ils sont mélangés à l'air ou à l'oxygène dans des proportions convenables, et qu'on les enflamme.

Hugon. — Brevet du 11 septembre 1858. — Machine utilisant la force explosible et le vide résultant de la combinaison de l'hydrogène pur ou des différents gaz de l'éclairage, etc.

Hugon. — Brevet du 11 septembre 1858. — Application directe aux machines à vapeur en général de la force explosible et du vide résultant de la combinaison des mélanges d'air et de gaz dans des proportions convenables.

Anger et Cretin. — Brevet du 25 novembre 1858. — Machine à gaz clos.

Barsanti et Matteucci. — Brevet du 4 février 1859. — Moyens d'employer comme force motrice la détonation d'un mélange d'air et de gaz inflammables.

Payne. — Brevet du 11 mars 1859. — Perfectionnements dans le traitement de l'air et dans leur emploi pour obtenir une puissance motrice.

Lenoir. — Brevet du 24 janvier 1860. — Moteur à air dilaté par la combustion des gaz.

Hugon. — Brevet du 20 février 1860. — Application aux machines à vapeur, en général, d'un appareil utilisant la force explosible et le vide résultant

de la combinaison des mélanges d'air et de gaz dans des proportions variables.

Cohade. — Brevet du 17 mars 1860. — Système de machines fonctionnant par la détonation des mélanges explosifs gazeux.

Marguerite, Lalouel de Sourdeval et Worms de Romilly. — Brevet du 26 mars 1860. — Application aux machines à vapeur du produit de la réaction de la vapeur d'eau sur le charbon.

Veron. — Brevet du 23 juin 1860. — Comburate de mousse pour l'exploitation des roches et la génération des gaz dynamiques dans les machines à haute pression.

Cohade. — Brevet du 21 juin 1860. — Utilisation du travail mécanique développé par la combustion calme ou explosive des mélanges gazeux aux machines motrices ou autres.

Corbin. — 8 août 1860. — Appareil propre à un mode d'emploi, comme force motrice, de la force élastique des gaz et des vapeurs.

Il est essentiel d'observer que ce relevé, qui pour les brevets français s'étend jusqu'au 31 décembre 1860, ne comprend pas les patentes anglaises de 1859 et de 1860, dont les catalogues n'ont pas encore été publiés.

Et maintenant, qu'il nous soit permis de nous demander quel est le résultat acquis par cette nombreuse succession de recherches. Sommes-nous enfin en possession d'un moteur économique, lorsqu'on le compare aux machines à vapeur? les résultats que nous avons publiés dans le dernier numéro des *Annales* répondent suffisamment par la négative.

Nous avons, pour résultat unique, un moteur commode, d'un emploi et d'une installation faciles, s'alimentant de gaz courant, ne dépensant que quand il produit, mais sujet à un entretien sérieux, et limité aux petites forces, par cela seul qu'il ne peut entrer en compétition avec la machine à vapeur.

Quelques-uns des inventeurs déclarent aujourd'hui qu'ils ont abandonné leur machine parce qu'ils ont reconnu, par de nombreuses expériences, que la force du cheval coûtait trop cher; ils étaient en cela dans le vrai.

M. Lenoir, fût-ce même parce qu'il s'est fait illusion sur la dépense réelle de sa machine, ne s'est pas arrêté à cette difficulté; il a prouvé, suivant nous, par la pratique, que dans certaines

limites sa machine est encore applicable avec avantage. Nous l'avons, dans notre article spécial, félicité d'avoir rendu cet appareil vraiment utile dans les limites d'emploi qui lui conviennent, et nous pensons que la persévérance ne doit pas être rejetée au dernier rang parmi les nombreuses qualités qu'on est en droit d'exiger d'un industriel.

Mais ce sont là, dans une certaine mesure, des questions personnelles dont nous n'avons pas, en vérité, à nous occuper, et il sera plus intéressant pour nos lecteurs d'examiner ce que l'on peut raisonnablement attendre de quelques-unes des modifications dont la machine à gaz peut être l'objet, et de voir, dès à présent, en quoi elle pourrait être améliorée.

M. Lenoir ayant mis à notre disposition une machine de la puissance de deux chevaux, nous avons pu nous rendre compte du peu d'influence que les dimensions exercent sur le résultat. Bien que ces expériences aient été faites peut-être avant le complet rodage des organes, et à titre en quelque sorte préparatoire, la concordance entre les nouveaux chiffres et les précédents est presque absolue. Nous avons tout lieu de croire que la consommation ne s'abaissera pas sensiblement lorsque les organes auront servi pendant quelque temps, et des changements dans la distribution ne sauraient non plus avoir une influence prépondérante.

Ces changements, les tracés à l'indicateur permettent d'indiquer dans quel esprit ils doivent être faits ; le même retard dans l'explosion se fait remarquer dans la nouvelle machine, et l'on pourra sans aucun doute y obvier par une certaine avance donnée aux contacts qui produisent l'inflammation. La période du travail moteur correspondra dès lors à une plus grande partie de la course totale, et la pression résultant de l'inflammation du mélange non raréfié, comme dans l'état actuel des choses, sera nécessairement plus élevée qu'elle ne l'est maintenant. Cet avantage cependant ne saurait avoir l'efficacité que le calcul indiquerait, parce que le refroidissement qui suit la période d'expansion est si rapide, que bientôt la pression s'abaisse jusqu'à la pression atmosphérique et même au-dessous, et qu'il sera bien difficile de ne pas dépasser cette limite lorsque le cylindre sera d'une certaine longueur.

Ces réflexions nous amènent à comprendre pourquoi l'on n'a,

pendant si longtemps, eu recours qu'au vide qui suit l'expansion; l'effet de ce vide est plus permanent, par conséquent plus saisissable, et il se prête mieux à une utilisation pratique.

Le but qu'il convient de rechercher aujourd'hui est sans aucun doute cette utilisation en quelque sorte secondaire, mais dont on peut toutefois attendre un résultat avantageux. Ce résultat, il est facile de le calculer approximativement :

Si dans les conditions du seul travail moteur de la période d'expansion nous admettons qu'il faille dépenser 2500 litres en une heure pour une force d'un cheval, ou, ce qui revient au même, pour 270000 kilogrammètres, nous voyons que chaque litre de gaz courant représenterait environ 100 kilogrammètres. Ce mètre cube est mélangé avec douze mètres cubes d'air; le volume total à 0 serait de 13 mètres cubes, dans lesquels la vapeur d'eau entrerait pour $1^{m}.57$. La condensation totale diminuerait donc le volume, à égalité de température et de pression, de $1^{m}.57$. Le travail théorique correspondant serait mesuré par $10330 \times 1{,}57 = 16218$ kilogrammètres, ou un seizième du travail de pleine pression.

Ce calcul approximatif conduirait donc à un seizième de diminution dans la dépense; mais on ne saurait, par ce moyen, abaisser la consommation jusqu'à 2,000 litres par force de cheval et par heure. Une telle économie serait intéressante, sans doute, mais elle ne permettrait pas encore aux machines à gaz de se rapprocher de la dépense actuelle des machines à vapeur.

L'obligation de condenser ne diminuerait pas, d'ailleurs, la perte de chaleur par l'eau de circulation, et nous avons vu, par la détermination de cet élément, qu'il représente près des quatre cinquièmes de la chaleur totale dégagée de la combustion. D'un autre côté, la condensation ne saurait être aussi complète que nous l'avons supposée, et elle retarderait évidemment la vitesse de la machine qui, d'après ce que nous avons dit, demanderait, quant à la période d'expansion, à être réglée avec l'indicateur de pression pour chaque cas particulier, de manière que, eu égard à la limite de l'admission, la pression soit encore un peu supérieure à celle de l'atmosphère à la fin de la course.

Sans doute il n'est pas possible d'assigner des limites au progrès; mais les tentatives ont été jusqu'ici assez nombreuses et assez variées, les résultats d'expériences sont assez concordants

pour que l'on puisse affirmer, suivant nous, que la machine à gaz courant, dans les conditions générales où elle fonctionne aujourd'hui, ne peut être rendue beaucoup plus économique.

Mais si les phénomènes généraux sont assez bien connus pour qu'on puisse porter, avec autant de certitude que pour la machine à vapeur telle que nous la connaissons, une appréciation raisonnée, il n'en est pas de même des phénomènes de détail et particulièrement des réactions chimiques auxquelles devront donner naissance les différents gaz, au milieu de ces orages qui se succèdent pendant toute la durée du fonctionnement de la machine à moins d'une demi-seconde d'intervalle.

M. Boussingault, lors des premières analyses qu'il a bien voulu faire sur les gaz de la combustion, avait soupçonné la présence d'un acide dans l'eau qui avait été employée dans ses déterminations eudiométriques.

Dans nos essais sur une autre machine nous avons pu recueillir à l'échappement 49 grammes d'eau condensée : elle était sensiblement colorée en jaune et elle rougissait énergiquement *le papier de* tournesol.

M. Boussingault a pris la peine d'en faire l'analyse complète, et il se trouve que chaque litre de ce liquide renfermerait :

Acide nitrique.	0.02175 gramme.
Ammoniaque.	0.106
Oxyde de fer.	0.612
Acide sulfurique.	0.305
Matières organiques.	traces.

L'azote se combine avec un peu d'oxygène sous l'influence de l'étincelle, et l'acide nitreux, en réagissant sur l'acide sulfureux, dont le gaz courant n'est jamais entièrement dépouillé, reproduit dans toutes ses phases le procédé classique de la fabrication de l'acide sulfurique.

L'ammoniaque provient de la combinaison, sous les mêmes influences, de l'hydrogène et de l'azote; mais quant à l'oxyde de fer il ne peut provenir que des parois de la machine ou des tuyaux, sous l'action des acides libres résultant des réactions gazeuses.

Dans notre dernière expérience la machine consommait près de 5000 litres de gaz par heure, et l'on peut, d'après les données

précédentes, calculer la production totale d'acide sulfurique ainsi qu'il suit :

Chaque mètre cube de gaz fournit 1k.57 mètres cubes de vapeur d'eau, dont le poids est donné par le produit 0.622 × 1.293 × 1.57 = 1k.256.

Une machine de 2 chevaux consommant 5 mètres cubes de gaz par heure fournirait donc 5 × 1.256 = 6.280 kilog. d'eau condensable, soit 6.280 litres, et ce volume d'eau contiendrait, d'après l'analyse de M. Boussingault :

Acide azotique. . . .	0g.02175	× 6.280 =	0.137 gramme.
Ammoniaque.	0 .106	× 6,280 =	0.666
Oxyde de fer.	0 .612	× 6.280 =	3.843
Acide sulfurique. . .	0 .306	× 6.280 =	1.927

L'acide sulfurique est ici l'agent le plus énergique ; il s'en formerait près de 2 grammes par heure, et 20 grammes en une journée de 10 heures.

Ainsi en 50 jours de travail la machine aurait produit près d'un kilogramme d'acide sulfurique.

Nous ne pensons pas que cette production soit un obstacle très-sérieux à l'emploi des machines à gaz ; mais c'est cependant un ennemi qu'il importe de ne pas laisser dans la place, et dont la présence ne peut être évitée qu'en employant des gaz bien dépourvus d'hydrogène sulfuré.

A notre avis, et pour ces motifs, l'avenir des machines à gaz repose :

1° Sur une meilleure épuration du gaz employé.

2° Sur l'utilisation de la condensation.

3° Sur l'avance donnée à l'inflammation.

4° Sur le soin à apporter dans la vitesse convenable à chaque machine, suivant la longueur de sa course.

5° Sur son emploi exclusif aux petites forces motrices.

Nous serions heureux que ces indications pussent contribuer pour quelque chose à l'utilisation meilleure du combustible spécial du nouveau moteur.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

SUR UNE

MACHINE DE M. DANCHOT, DITE GRANULATEUR A NOIR ANIMAL.

La Société d'agriculture a désiré que le granulateur de M. Danchot fût essayé au Conservatoire. A cet effet, il a été installé dans la salle des machines en mouvement, et après examen de toutes ses parties, on l'a fait fonctionner dans les conditions de travail que l'inventeur a indiquées comme les plus favorables.

La machine se compose d'une grande trémie dans laquelle on verse le noir brut, et qui le conduit sur un cylindre en fonte armé de lames en acier au nombre de 16; le diamètre du cylindre est 0m.19, sa longueur 0m.60; il porte à sa circonférence un nombre de rainures en hélice égal à celui des lames, qui doivent s'y engager de manière à ne présenter que 3 millimètres de saillie, bien qu'elles soient formées chacune d'une bande d'acier de 10 millimètres de largeur et de 10 millimètres d'épaisseur. Lorsqu'elles sont toutes insérées dans leurs rainures, on les y maintient, par chacune de leurs extrémités, à l'aide d'une bague en fer de 15 millimètres fixée sur le tambour au moyen de vis, et qui a la même saillie qu'elles; ce sont ces lames de forme rectangulaire qui doivent diviser la matière lorsqu'elle passe entre elles et une plaque mobile dont le rapprochement plus ou moins grand peut être réglé, suivant les circonstances, au moyen d'un butoir à vis.

La plaque est maintenue dans chacune des positions par un levier, à l'autre extrémité duquel se trouve suspendue une caisse remplie de lingots de fonte formant contre-poids. Lorsque le corps qui s'engage dans la machine est trop résistant, le levier s'abaisse en relevant ce contre-poids et l'ouverture est momentanément agrandie, assez pour que les corps étrangers puissent

passer. Cette disposition, déjà réalisée en principe dans un certain nombre de machines, est ici appliquée de la manière la plus heureuse en ce qu'elle évite toute chance des accidents ordinairement produits dans les moulins à noix, qui sont employés pour cet usage, par les ferrailles qui se trouvent presque toujours mélangées avec les os calcinés.

On est obligé d'arrêter le moulin lorsque cette circonstance se présente, pour dégager les morceaux de fer; mais souvent quelques dents de la noix sont déjà brisées, et cette pièce principale dans les appareils de ce genre doit être fréquemment remplacée.

Dans la machine nouvelle, au contraire, on n'a aucun accident à craindre, et il n'est pas nécessaire d'arrêter. Les dents se remplacent, d'ailleurs, avec une grande facilité sur le cylindre lorsqu'après un long usage elles sont mises hors de service.

Après leur concassage, les morceaux de noir sont recueillis sur un tamis à mailles graduées et les fragments sont reçus suivant leur grosseur dans des auges spéciales : ceux qui seraient encore trop gros sont repris par une chaîne à godets et renvoyés dans la trémie d'alimentation pour être automatiquement soumis à un nouvel écrasement. C'est à la partie inférieure de cette chaîne à godets que les morceaux de fer sont recueillis avec quelques morceaux de noir, au milieu desquels il faut ensuite les rechercher à la main.

Lors des expériences on a introduit avec intention dans la matière brute une douzaine de fragments de fèrraille du poids de 100 à 300 grammes. 150 kilogrammes de noir ayant été versés dans la trémie, on a fait marcher la machine pendant 6 minutes seulement : le nombre total des tours de l'arbre du cylindre a été de 529, et l'on a recueilli dans les différentes bâches, préalablement vidées et tarées

22k.70 — 5k.80 = 16k.90 de noir fin.
24 .50 — 5 .90 = 18 .60 de petit grain ou mignonnette.
39 .60 — 6 .95 = 32 .65 de grain moyen ou de raffinerie.
52 .40 — 8 .50 = 43 .90 de gros grain tel qu'il est employé par
Total 112 .05 les fabricants du Nord.

Le poids total du noir concassé et trié a donc été pendant ces 6 minutes de 112 k., ce qui correspondrait à une préparation de 1120 kilogrammes par heure.

On sait que la production des moulins à noix est beaucoup moindre. Un échantillon de chaque sorte a été remis à M. Payen pour l'examiner.

Les ferrailles ont été retrouvées dans la boîte de rebut, et même au moment où l'on a vu le tablier se relever la machine a fonctionné très-régulièrement : établie dans de bonnes conditions, elle nous paraît satisfaire complétement au but pour lequel elle est spécialement construite.

Paris, le 23 avril 1861.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers, H. TRESCA.

Vu : Général MORIN.

Le dessin ci-joint représente les principales dispositions du granulateur de M. Danchot.

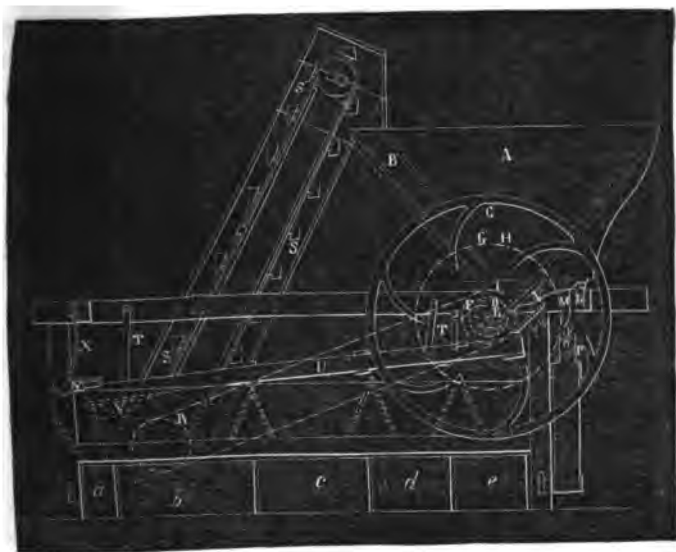


Fig. 1.

A, Trémie dans laquelle on déverse les os à pulvériser.

B, Double fond dans lequel la chaîne à godets S ramène les

matières qui n'ont pas été suffisamment concassées dans la première opération.

C, Volant.

D, Cylindre garni des lames en acier décrites dans le précédent procès-verbal.

E, F, Roue à rochet et son cliquet.

G, H, I, Poulies; les deux premières, l'une fixe et l'autre folle, servent à la commande générale; les deux autres transmettent le mouvement à la chaîne à godets.

N, Râteau mobile à bascule, maintenu à une petite distance du cylindre par le moyen du crochet M, du ressort O et du poids P qui est suspendu à ce crochet.

T, Plates-bandes en fer qui soutiennent le blutoir.

V, Blutoir garni de toiles métalliques dont les mailles sont d'ouvertures variées.

X, Ressort du blutoir.

a, Caisse dans laquelle se réunissent les morceaux de ferraille mélangés d'os carbonisés.

b, *c*, *d*, *e*, Caisses dans lesquelles tombent les grains blutés par ordre de grosseur; le noir fin se recueille dans la première caisse *e*.

NOTE SUR UN NOUVEAU PRINCIPE

DE CINÉMATIQUE

SUR SON EMPLOI ET SUR LE THÉORÈME DE M. CHASLES,

PAR M. TOM RICHARD[1].

1. Tous ceux qui s'occupent aujourd'hui de la théorie ou de la pratique de la mécanique appliquée connaissent le théorème qui a reçu le nom de *principe de M. Chasles*, — non pas peut-être sous la forme primitive et purement géométrique que lui donna d'abord son savant auteur[2], mais au moins sous celle qu'il a reçue de notre illustre maître, M. Poncelet, dans ses leçons lithographiées professées à l'École d'application de l'artillerie et du génie.

En adoptant l'interprétation de M. Poncelet, ce principe consiste, comme l'on sait, en ce que :

2. *Si une figure plane, de forme et de grandeur invariables, quoique arbitraire, éprouve un déplacement quelconque infiniment petit sans quitter ce plan, elle tendra à tourner, sans glisser, autour d'un certain point fixe* C *qu'on obtiendra par la rencontre des normales aux éléments courbes que décrivent simultanément deux quelconques,* A *et* B, *des points de la figure*[3].

1. Cette note a déjà été imprimée à un petit nombre d'exemplaires en 1856.

2. Page 321, tome XIV du *Bulletin des sciences mathématiques de Férussac*.

3. L'énoncé de M. Chasles, tel qu'il a été communiqué par ce savant géomètre à la Société philomathique, le 5 février 1831, est ainsi conçu : *Quand deux polygones égaux sont placés d'une manière quelconque dans un plan, il existe toujours un point du plan qui est également distant de deux sommets homologues quelconques des deux polygones. Ce point est semblablement placé par rapport aux deux polygones.*

Cet énoncé, reproduit au tome XIV du *Bulletin de Férussac* déjà cité, y est suivi d'une démonstration de M. Hachette, qui ne saurait être appliquée au cas du mouvement *virtuel* de l'un des polygones.

3. Ce *certain point* C, fixe pour un seul instant, que d'après Jean Bernouilli on nomme souvent le *centre spontané* [1] ou *instantané* de rotation de la figure, je demande la permission de l'appeler dans cette note *centre de rotation virtuelle*, — l'épithète *virtuelle* ayant dans le langage de la mécanique et même dans la langue vulgaire un sens qui indique mieux, ce me semble, que l'on considère plutôt ici la *tendance* de la figure plane à tourner qu'une rotation réelle ou un déplacement effectif autour de ce centre [2].

4. Quelque dénomination qu'on adopte, au reste, voilà certes une *règle* très-belle pour déterminer *graphiquement* ce point remarquable C; règle d'autant plus curieuse et plus utile qu'elle n'implique pas même la connaissance de la *grandeur* des chemins virtuels simultanément décrits par les points arbitraires A et B, et qu'il lui suffit des *directions initiales* des déplacements de ces points.

5. Ainsi, elle indique à l'instant même (*fig.* 9, *planche* 10) que le centre C de rotation virtuelle d'une droite de longueur constante A B, dont les extrémités A et B seraient assujetties à se mouvoir chacune sur un côté de l'angle droit A O B, se trouverait toujours à l'extrémité de la diagonale O C du rectangle construit sur O A et O B, distances des points A et B au sommet de l'angle droit.

6. De même (*fig.* 3) dans le mécanisme d'une bielle A B, articulée d'une part à un balancier O A, et de l'autre à une manivelle O'B, le centre de rotation virtuelle de la bielle est à l'intersection C des prolongements de la manivelle et du balancier, quand ces prolongements se rencontrent.

7. De même enfin (*fig.* 10) dans le bizarre appareil connu sous le nom de *pendule de White*, où la masse pendulaire se compose d'une barre rigide et lourde A B, suspendue à une barre égale *f* F par des tiges diagonales *f* A, F B, cette règle nous enseigne que le centre de rotation virtuelle de la masse pendulaire sera toujours situé à l'intersection C, C'..., des diagonales du

1. *Voco* spontaneum *quia à naturâ sponte quasi eligitur.*
(*J. Bernouilli*, *Opera*, t. IV, p. 268.)

2. VIRTUEL — qui a la puissance d'agir, sans l'exercer. (*Boiste.*)

quadrilatère $fABF$, $fA'B'F$, de sorte que, par l'effet du mouvement de la masse mobile AB, ce centre décrit une *ellipse* CC′..., dont les points de suspension f, F sont les deux foyers.

8. Mais cette règle féconde est-elle sûre, et le principe dont elle est l'expression porte-t-il donc en soi un tel degré d'évidence qu'il n'y ait pas même lieu de le justifier? C'est ce que personne, je crois, ne sera disposé à admettre d'après l'énoncé très-précis et très-exact, § 2, sous lequel notre savant maître s'est contenté de le promulguer, — énoncé reproduit partout depuis, sans autre addition qu'une sorte de paralogisme emprunté de *Hachette* (note, page 1), et qui confond parfois les déplacements *finis* avec les *vitesses* des points A et B.

9. J'ai eu particulièrement à souffrir de ce défaut d'une démonstration du *théorème de M. Chasles*, lorsqu'en 1852-53 je professai au Conservatoire le cours de mécanique, et j'y suppléai alors par un raisonnement plus convaincant qu'il n'est lumineux, emprunté à la page 648 de mon *Aide-mémoire général des Ingénieurs;* j'essaye aujourd'hui de combler la lacune qu'elle laisse dans l'*enseignement* de la mécanique.

10. Je cherche d'abord les expressions générales des coordonnées du centre de rotation virtuelle des figures planes tournant dans leur plan, et de ces expressions ressort avec évidence la vérité du principe, disons mieux, du *théorème de M. Chasles,* qui se trouve ainsi démontré par cette voie et peut-être un peu étendu; c'est l'un des objets de cette note.

11. La recherche même de cette démonstration me conduit directement à un autre *principe* si évident, ce me semble, que j'ai peine à concevoir comment il n'ait pas été signalé jusqu'ici, — principe que dans l'ordre logique on trouvera, je crois, antérieur et si supérieur au beau *théorème de M. Chasles,* qu'il le domine tout entier, qu'il en est l'âme, qu'il lui donne à la fois sa vérité et sa force, principe enfin à défaut duquel le théorème de M. Chasles n'existerait plus.

12. Et, après avoir ainsi justifié et démontré complétement ce théorème, je me trouve comme fatalement amené à lui substituer l'emploi du *principe* en question, — non pas sans doute lorsqu'il s'agit simplement de déterminer le centre de rotation virtuelle de la figure, mais toujours et avec avantage

semble-t-il, lorsque le but principal de la recherche est le rapport $\frac{V}{V'}$ des vitesses simultanées des points arbitraires A et B de cette figure; ce qui a lieu le plus souvent dans les questions de mécanique. Tel est l'autre objet principal de cette note.

13. Enfin, et comme si j'étais condamné à paraître vouloir voiler l'éclat, l'utilité, ou seulement la difficulté de profondes recherches devant lesquelles je m'incline avec respect, et qui sont dues à des hommes que j'honore tous profondément, voilà que, comme malgré moi, jaillissent de ce même principe *évident* dont je viens de parler tous ces autres intéressants théorèmes que M. Robert Willis a si laborieusement démontrés dans ses *Principles of mechanism*, et que j'ai non moins laborieusement démontrés moi-même après le savant professeur de Cambridge, soit dans mes leçons du Conservatoire, soit aux articles *Bielle, Engrenages*, etc., de mon *Aide-mémoire des Ingénieurs*.

14. Nous prions donc le lecteur qui consentira à nous suivre dans le cours de cette note de vouloir bien faire la part de ces rencontres fortuites, j'ai presque dit de ces *accidents*, et de ne pas s'étonner trop des relâches ou digressions dont parfois elles seront la cause.

---

15. Une figure plane quelconque tend, à un instant donné, à se mouvoir dans son propre plan en vertu de causes que nous n'avons nullement à considérer ici;

Une droite, que nous désignerons toujours par AB (*fig.* 1 et 2), et dont la position est liée par une relation connue à celle des autres éléments de la figure plane, est prise ou, au besoin, est tracée dans le plan de celle-ci;

Sa longueur est constante, au moins pendant un instant; et ses points A et B sont choisis de telle sorte, que l'on connaisse, à l'inspection de la figure, au moins les *directions*, mais non pas les grandeurs de leurs vitesses réelles simultanées V et V'.

On se propose de déterminer :

1° Le centre de rotation virtuelle de la droite $AB = l$, qui devient ainsi celui de la figure plane,

2° Et principalement le rapport $\frac{V'}{V}$ des vitesses simultanées des points B et A. — De sorte, que l'une, V, de ces vitesses étant

ultérieurement connue, on puisse obtenir la vitesse V′ de B au même instant.

16. Soient (*fig.* 1 et 2).

AB, la droite de longueur constante l,

$dx = Aa$, $dy = Bb$ les chemins virtuels que tendent à parcourir simultanément les points A et B de la droite l, pendant l'instant dt, sur les tangentes aux trajectoires de ces points.

$V = \frac{dx}{dt}$, $V' = \frac{dy}{dt}$ seront dès lors les vitesses respectives de ces points au même instant;

α et β les directions connues de ces vitesses par rapport à la droite AB, ou les angles toujours aigus compris entre la direction de cette droite l, ou de son prolongement, et les tangentes Aa, Bb.

Afin de ne pas multiplier les divers cas, nous convenons de réserver la lettre A pour celui des deux points de la droite dont la vitesse V formera *le plus petit* angle avec AB. On a donc toujours $\alpha < \beta$ ou, au plus $\alpha = \beta$ [1].

α sera d'ailleurs, toujours considéré comme positif, et, dès lors, β deviendra négatif ou $(-\beta)$ lorsque (*fig.* 2) cet angle sera ouvert de l'autre côté de la droite, par rapport à $(+\alpha)$.

Enfin, nous convenons de prendre toujours le point A pour origine des coordonnées; de compter comme positives et les abscisses z dirigées de A vers B et les ordonnées δ qui croissent avec la tangente de α.

17. Ceci posé, et quelles que puissent être les vitesses simultanées, mais réelles, des points A et B, vitesses dont les directions seules nous sont connues, chacune d'elles pourra être conçue comme décomposée en une vitesse perpendiculaire à AB, et en une autre vitesse dirigée selon cette droite.

18. Suivons d'abord l'effet des composantes

$$\frac{dy}{dt}\cos\beta \quad \text{et} \quad \frac{dx}{dt}\cos\alpha$$

ou $V'\cos\beta$ et $V\cos\alpha$ qui sont dirigées selon la droite AB; je dis que *ces vitesses sont nécessairement égales et de même sens*, et que l'on

1. On verra plus loin que ce plus petit angle aigu α correspond *nécessairement* à la plus petite vitesse V.

a obligatoirement, et dans tous les cas possibles d'un mouvement virtuel de la droite

$$\left.\begin{array}{l}\frac{dx}{dt}\cos\alpha=\frac{dy}{dt}\cos\beta.\ \ldots\ldots\\ \text{ou}\ \frac{V}{V'}=\frac{\cos\beta}{\cos\alpha}.\ \ldots\ldots\end{array}\right\}(1)$$

En effet, dire que deux points A et B, qui font partie d'une droite mobile et d'une longueur invariable, se meuvent dans le sens de cette longueur, n'est-ce pas dire que la droite tout entière se meut elle-même sur cette longueur?

Et pourrait-on concevoir, alors, comment tous les points de AB n'auraient pas la vitesse même de cette droite, au même instant, et dans sa direction propre [1]?

Ainsi, $\cos\alpha$ et $\cos\beta$ étant donnés, la condition d'un mouvement virtuel réel de la droite est que les grandeurs des vitesses V et V' soient telles, qu'on ait $V\cos\alpha = V'\cos\beta$, c'est-à-dire *que leurs projections soient égales et de même sens;* ce qui fixe, non pas ces grandeurs en elles-mêmes, mais seulement leur rapport

$$\frac{V}{V'}=\frac{\cos\beta}{\cos\alpha}.$$

19. L'égalité des vitesses des points A et B, dans la direction de la droite invariable AB, et au même instant, est donc une sorte d'axiome, ou mieux, un *fait* cinématique nécessaire, qui tient à la nature même des choses, et qui n'a sa raison d'être que dans l'impossibilité évidente qu'il en soit autrement; fait dont l'expression constitue le *principe* suivant, sur lequel repose tout entier le très-beau *théorème de M. Chasles*, et bien d'autres encore.

20. Principe fondamental. *Si, à un instant donné, l'on décompose les vitesses simultanées dont jouissent réellement différents points d'une même droite de longueur invariable, en leurs composantes perpendiculaires à cette droite, et en composantes dirigées suivant cette droite, ces dernières composantes seront nécessairement égales entre elles et de même sens.*

1. Serait-il nécessaire d'ajouter qu'on suppose toujours que la droite n'est jamais traversée par un axe fixe?

21. Il y a donc, dans le mouvement virtuel d'une droite AB, une relation (1) obligée entre les *grandeurs* et les *directions* des vitesses de ses points A et B.

Il en résulte immédiatement, par exemple :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

c'est-à-dire que *les chemins élémentaires* dy, dx, *que tendent à décrire simultanément deux points* B *et* A *de la droite*, *sont entre eux, réciproquement, comme les cosinus des angles formés par cette droite avec les directions respectives du mouvement*. Ce qui est précisément le théorème du mouvement virtuel des *bielles*, que le très-savant professeur *R. Willis* démontrait en 1841, — que, moi-même, j'ai donné, d'après lui, en 1848, à l'article *bielle* de mon *Aide-mémoire des Ingénieurs*, — théorème qui n'est plus, au fond, que la condition du mouvement virtuel d'une droite mobile.

22. Il en résulte encore (et ceci soit dit incidemment) que, lorsque dans les démonstrations on figure par des droites A*a*, B*b*, les vitesses simultanées et réelles de deux points A et B d'une droite invariable, il faudrait au moins visèr à ce que les projections A*p*, B*p'* de ces vitesses sur la droite fussent égales entr'elles, et surtout ne point donner à ces projections de vitesses des sens contraires, sous peine de figurer un mouvement virtuel *impossible*.

23. Mais revenons maintenant aux vitesses *perpendiculaires* à AB :

Celle du point A sera exprimée par

$$\frac{dx}{dt} \sin \alpha = \mathrm{V} \sin \alpha. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

De même, celle du point B sera donnée par

$$\frac{dy}{dt} \sin \beta = \mathrm{V'} \sin \beta. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Je décompose cette dernière vitesse en deux autres de même direction :

$$\mathrm{V} \sin \alpha \text{ d'une part} \quad \text{et} \quad \mathrm{V'} \sin \beta - \mathrm{V} \sin \alpha. \quad . \quad (5)$$

Les points A et B et par conséquent tous les autres points de la droite se trouvent ainsi animés, savoir :

1° D'un mouvement de transport commun, perpendiculaire à AB dont la vitesse est V sin α ;

2° D'un mouvement angulaire ω dû à la différence des vitesses des points B et A et qui sera dès lors

$$\omega = \frac{dy \sin\beta - dx \sin\alpha}{l dt} = \frac{V' \sin\beta - V \sin\alpha}{l}. \quad . \quad (6)$$

en ayant soin de faire $\sin\beta$ négatif lorsque β (*fig.* 2) sera ouvert de l'autre côté de la droite par rapport à α.

24. Donc, un point Z quelconque pris sur AB ou sur son prolongement à une distance $AZ = z$ du point A tend à prendre à la fois dans le mouvement virtuel de la droite deux vitesses initialement perpendiculaires à cette droite et dont la somme ou résultante est :

$$\frac{dx}{dt} \sin\alpha + \omega z. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

25. Or si, en partant de sa position actuelle pour passer à une position infiniment voisine, la droite AB *croise* quelque part sa première direction, c'est évidemment en un point qui, dans le mouvement virtuel, prendra une vitesse *nulle*. Donc, si l'on veut maintenant que Z représente ce point de croisement ou de *décussation virtuelle* de la droite, on obtiendra sa distance z à A en égalant à zéro la vitesse (7); ce qui donnera après y avoir introduit la valeur (6) de ω

$$z = \frac{-l dx \sin\alpha}{dy \sin\beta - dx \sin\alpha} = \frac{-l V \sin\alpha}{V' \sin\beta - V \sin\alpha}. \quad (8)$$

Et l'on voit que cette distance z sera toujours positive, c'est-à-dire que la décussation sera située entre A et B lorsque (*fig.* 2) β et dès lors $\sin\beta$ seront négatifs.

26. Nous aurions pu, en partant du principe fondamental $\frac{dy}{dx} = \frac{\cos\alpha}{\cos\beta}$ (2), rendre cette expression de z tout à fait indépendante de la grandeur des vitesses; mais nous y reviendrons tout à l'heure, § 30.

27. *Tracé* (*fig.* 1 et 2). Cette expression (8) de z montre d'ailleurs que, lorsque dans certains cas particuliers on connaîtra les grandeurs V et V' des vitesses, on obtiendra la *décussation* virtuelle Z en menant une droite indéfinie $b'a'$ par les extrémités des composantes de ces vitesses qui sont perpendiculaires à AB.

Cette droite indéfinie $b'a'$, en vertu de la proportion 8 doit toujours, en effet, couper AB à la décussation Z [1].

28. C'est ce point Z, que nous venons de déterminer, que *Jean Bernouilli* appelait proprement le centre spontané de rotation de la droite, parce que, mû par une considération dynamique particulière, il n'examina d'abord que le cas où les points A et B ne pouvaient prendre que des vitesses *perpendiculaires* à la droite AB.

Mais, sauf ce cas très-particulier, le point Z, que je propose d'appeler la *décussation* de la droite, n'est point son centre de rotation virtuelle, ni celui du système dont elle fait partie, et la distance z (8) n'est, en général, que l'abscisse de ce centre.

29. Quant à son ordonnée δ, il est maintenant facile de l'obtenir, car AB devant prendre virtuellement autour de son centre de rotation le mouvement angulaire même ω que nous lui avons reconnu (6), il faut bien que l'on ait :

$$\mp\frac{dx \cos\alpha}{dt} = \omega\delta = \frac{\delta\,[dy \sin\beta - dx \sin\alpha]}{ldt}. \quad (9)$$

suivant que le mouvement initial a lieu dans le sens BA (—) ou dans le sens AB (+), ou suivant que la vitesse estimée dans la direction de la droite et qui est commune à tous ses points est négative ou positive ; — ce que l'examen de la figure montre toujours avec évidence.

On a donc pour la valeur et le signe de l'ordonnée δ du centre de rotation virtuelle.

$$\delta = \frac{\mp\, ldx \cos\alpha}{dy \sin\beta - dx \sin\alpha} = \frac{\mp\, lV \cos\alpha}{V' \sin\beta - V \sin\alpha}. \quad (10)$$

30. Substituant maintenant, ainsi que le principe fondamental nous y autorise, le rapport des *directions* $\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}$ à celui des *grandeurs* $\frac{dy}{dx}$ ou $\frac{V'}{V}$, nous aurons encore pour les coordonnées z et δ (8 et 10) du centre de rotation virtuelle.

1. Si l'on éprouvait quelque difficulté à se rendre compte de ce tracé pour le cas de la *fig.* 2, il suffirait de remarquer que $\sin\beta$ étant négatif, on a

$$z : dx \sin\alpha :: (l - z) : dy \sin\beta \quad \text{ou} \quad z = \frac{ldx \sin\alpha}{dy \sin\beta + dx \sin\alpha}.$$

$$\left.\begin{array}{c} z = \dfrac{-l \tang \alpha}{\tang \beta - \tang \alpha} \text{ et } \delta = \dfrac{\mp l}{\tang \beta - \tang \alpha} \\ \text{d'où } \pm z = \delta \tang \alpha. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \end{array}\right\} \quad (11)$$

Expressions curieuses en ce sens qu'elles ne contiennent plus les vitesses[1] et qu'elles ne dépendent que des *directions* de ces vitesses et de la longueur l de la droite.

31. *Justification du tracé de M. Chasles* (§ 2). Du centre de rotation virtuelle ainsi déterminé par ses coordonnées z et δ, (*fig.* 1 et 2) menons aux limites A et B de la droite mobile les lignes $CA = m$ et $CB = n$. Ces droites, de quelque manière que soit placé le centre C (*fig.* 1 et 2), seront toujours les hypoténuses de triangles CBZ, CAZ, rectangles en Z. δ sera la commune projection de ces hypoténuses ou la hauteur commune de ces deux triangles, dont les bases respectives sont $(l - z)$ et z, bases qui prendront les valeurs $(l + z)$ et $-z$ lorsque z sera négatif (8 et 11). On a donc nécessairement,

$$z = \delta \tang ACZ \quad \text{ou} \quad \tang ACZ = \frac{z}{\delta}.$$

Or, nous avons vu (11) que l'on avait aussi nécessairement,

$$\tang \alpha = \frac{z}{\delta}$$

donc : angle $ACZ =$ angle α et $ZAC = 90° - \alpha$
donc (*fig.* 1) $aAC = ZAC + \alpha = 90°$
et (*fig.* 2) $aAC = 180° - (90° - \alpha + \alpha) = 90°$.

Ainsi l'hypoténuse $AC = m$ ou *la distance du centre de rotation virtuelle à l'origine* A *de la vitesse* $V = \dfrac{dx}{dt}$ *est perpendiculaire à cette vitesse.*

1. La valeur (11) de z n'est point indéterminée lorsque l'on a à la fois $\alpha = 90°$ et $\beta = 90°$, en dépit de la forme qu'elle affecte alors :

$$z = -l \left(\frac{\infty}{\pm \infty - \infty} \right)$$

et la formule (8) donnerait à l'instant la vraie valeur de z pour ce cas ; en y faisant $\sin \alpha = \sin \beta = 1$ on aurait :

$$z = \frac{-lV}{V' - V} \quad \text{et} \quad z = \frac{lV}{V' + V}$$

suivant que α et β sont de mêmes signes ou de signes contraires.

32. Pour justifier complétement le tracé déduit du théorème de M. Chasles, il faut encore montrer que $BC = n$ est perpendiculaire à la vitesse V″. Or, il est digne de remarque que, pour y parvenir, l'intervention du principe fondamental, § 20, semble encore devenir nécessaire, tant il est vrai que ce principe forme la base de cette importante théorie.

Nous nous bornons, pour abréger, au cas de la *figure* 2 où β est négatif, et z et δ positifs. On a (11).

$$\text{tang } BCZ = \frac{l-z}{\delta} = \frac{l}{\delta} - \text{tang } \alpha$$

Or, si nous tirons de (10) la valeur de $\frac{l}{\delta}$ en y faisant $\sin \beta$ négatif, et en substituant à $\frac{dy}{dx}$ le quotient $\frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$ en vertu du principe, il vient :

$$\text{tang } \beta = \frac{l}{\delta} - \text{tang } \alpha$$

Donc : angle BCZ = angle β

$$\therefore\ CBZ = 90^\circ - \beta \qquad \therefore\ bBC = CBZ + \beta = 90^\circ$$

et $CB = n$ est une perpendiculaire en B à la vitesse $V' = \frac{dy}{dt}$.

Ainsi : *le centre* C *de rotation virtuelle se trouve bien à la rencontre des normales menées en* A *et* B *aux directions des vitesses de ces points.*

33. On a donc encore cette autre relation :

$$\delta = m \cos \alpha = n \cos \beta \quad \ldots\ldots \quad (12)$$

qui, combinée avec celle qu'exprime le principe fondamental, donne

$$\frac{m}{n} = \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} = \frac{dx}{dy} = \frac{V}{V'} \quad \ldots\ldots \quad (13)$$

C'est-à-dire que *les droites m, n, menées du centre de rotation virtuelle aux points* A *et* B *du plan mobile sont entre elles comme les vitesses simultanées de ces points.*

34. Ainsi, la position du centre de rotation virtuelle étant préalablement déterminée, on obtient, dans le quotient des droites m et n, le rapport des vitesses V et V′; mais comme, d'après le principe fondamental, on a déjà ce même rapport par celui des

cosinus qui est donné tout d'abord, il est fort inutile, et il est quelquefois fort incommode (*fig.* 3) d'aller chercher le lieu C du centre de rotation virtuelle, qui n'a que faire ici.

35. L'embarras est bien plus grand encore lorsque l'on cherche dans le rapport des lignes *m* et *n* une *expression générale* de celui des vitesses, et nous verrons tout à l'heure que, en partant du rapport des cosinus, on obtient facilement cette expression générale en fonction de lignes ou de distances moins éloignées que les lignes *m* et *n* de l'objet principal de la recherche et des données du système. Ce sera l'objet principal de la seconde partie de cette note. Résumons d'abord les résultats principaux de cette discussion (*fig.* 1 et 2).

36. *Si une figure plane, de forme et de grandeur invariables, éprouve un déplacement infiniment petit sans quitter son propre plan, une droite quelconque* AB *de cette figure et, par conséquent, le plan sur lequel elle est tracée ont pour centre de rotation virtuelle la rencontre* C *des perpendiculaires m et n menées, par* A *et* B, *aux directions des vitesses simultanées* V *et* V′ *de ces points, à moins que ces vitesses ne soient l'une et l'autre perpendiculaires à* AB.

37. *Dans ce dernier cas, le centre de rotation virtuelle de la droite* AB, *ou du plan qu'elle entraîne, serait situé sur la direction même de* AB, *à la rencontre* Z *de cette direction avec une autre droite qui passerait par les extrémités a′ b′ des vitesses simultanées des points* A *et* B.

38. *En général, la décussation virtuelle* Z *de la droite* AB *est située à la rencontre de la direction* AB *avec une droite passant par les extrémités b′ et a′ de celles des composantes des vitesses de* B *et de* A, *qui sont perpendiculaires à* AB. La décussation Z est à l'infini lorsque ces composantes sont égales et de même sens.

39. *Dans tout mouvement infiniment petit d'une droite* AB *de longueur invariable, les projections sur cette droite des vitesses simultanées et réelles des points* AB, *ou même de tout autre point de cette même droite, sont nécessairement égales et de même sens.*

---

40. Essayons maintenant de montrer par quelques exemples l'emploi de ce dernier *principe*, et les motifs très-fondés, ce nous semble, d'y recourir de préférence, dans tous les cas où l'objet

spécial de la recherche sera simplement le rapport des vitesses simultanées des points A et B. Prenons d'abord l'exemple déjà cité et tout à fait classique d'une bielle articulée d'une part à une manivelle, et de l'autre à un balancier (*fig.* 3).

11. *Cas des bielles et des manivelles.* On a ici, à l'instant même, en vertu du seul principe fondamental (§ 20), la relation :

$$V = V' \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}$$

en désignant par V' la vitesse du bouton B de la manivelle, et par V celle de l'extrémité supérieure A de la bielle.

Ainsi, et sans qu'on ait à chercher le centre C de rotation virtuelle que l'extrême longueur des lignes m et n rejette souvent hors de l'épure, on voit que V sera nulle lorsque cos β sera zéro, c'est-à-dire lorsque le bouton de manivelle passera aux points morts, points pour lesquels $\beta = 90°$.

V sera égale à V' aux points pour lesquels cos β sera $=$ cos α, soit lorsque les directions des points mobiles B et A seront parallèles, ce qui entraîne le parallélisme des bras r et r'.

12. *Et si* l'on croyait utile d'éclaircir par quelque construction *géométrique* l'étude du rapport des vitesses, il suffirait, en désignant par ω et ω' les vitesses angulaires simultanées $\frac{V}{r}$ et $\frac{V'}{r'}$ du balancier et de la manivelle, de substituer $\omega\, r$ à V, et $\omega' r'$ à V' dans la relation précédente, pour en déduire :

$$\frac{\omega}{\omega'} = \frac{r' \cos \beta}{r \cos \alpha} = \frac{O'L'}{OL}$$

c'est-à-dire que *les vitesses angulaires simultanées* ω *et* ω' *des extrémités* B *et* A *de la bielle sont entre elles, réciproquement, comme les perpendiculaires* O'L', OL, *menées des centres* O' et O *à la direction actuelle de la bielle.* Ce qui est encore un théorème de *M. Robert Willis*, dont on peut voir la longue démonstration à la page 127 de mon *Aide-mémoire général des Ingénieurs.*

13. Remarquons, en faveur de cette dernière construction, que les perpendiculaires O'L' OL seront toujours contenues dans l'épure qui comprend tout au moins la bielle AB et les centres de mouvement O et O'.

14. Que si (*fig.* 4), au lieu de tourner autour du centre O, l'ex-

trémité supérieure A de la bielle était assujettie à se mouvoir sur la verticale O′H du centre O′ de la manivelle, la perpendiculaire O′L′ à la direction instantanée de la bielle formerait évidemment avec l'horizontale O′D un angle $L'O'D = \alpha$, et l'on aurait ainsi :

$$O'L' = O'D \cos\alpha = r' \cos\beta$$

Substituant le rapport $\frac{O'D}{r'}$ à $\frac{\cos\beta}{\cos\alpha}$

dans l'équation $V\cos\alpha = V'\cos\beta$, que fournit directement le principe fondamental (§ 20), on tombe immédiatement sur la relation très-curieuse, démontrée, il y a bien trente ans, par *M. Poncelet* (page 54 de ses célèbres cahiers de Metz), savoir :

$$\frac{V}{V'} = \frac{\cos\beta}{\cos\alpha} = \frac{O'D}{r'} \quad \text{ou} \quad V = \omega \times O'D$$

c'est-à-dire que *la vitesse* V *du point* A *est à celle du bouton de la manivelle comme la distance* O′D *de l'intersection du prolongement de la bielle avec l'horizontale est au bras* r' *de la manivelle.*

45. *Application aux communications de mouvement par les courroies.* Il est trop évident, pour que je m'y arrête, que, dans le système de la *fig.* 5, où deux poulies circulaires sont embrassées par une courroie supposée inextensible, on a toujours

$$V = V' \quad \text{ou} \quad \frac{\omega}{\omega'} = \frac{r'}{r}$$

car $\cos\alpha = \cos\beta = 1$

mais je ferai remarquer que le principe fondamental s'appliquerait encore au cas de la *fig.* 6, où une poulie conductrice, d'une courbure quelconque, mène, à l'aide d'une courroie et d'un poids *tendeur*, une poulie circulaire. La distance $l = AB$ des points de tangence pouvant être considérée comme constante, pendant un instant, on a pour cet instant, à cause de $\alpha = 0$ et $\cos\alpha = 1$

$$\frac{\text{vitesse de A}}{\text{vitesse de B}} = \cos\beta \quad \text{ou} \quad \frac{\omega}{\omega'} = \frac{\rho\cos\beta}{r} = \frac{O'L'}{r}$$

c'est-à-dire que *la vitesse angulaire* ω *de la poulie est à la vitesse angulaire* ω *de l'excentrique, réciproquement, comme les perpendiculaires* O′L′ *et* r *menées des axes à la direction instantanée de la courroie.* Ce système est étudié à la page 269 des *Principles of*

mechanism, de *M. Robert Willis*, qui parvient au même résultat, mais par une autre voie.

16. *Application du principe fondamental aux mouvements des points* A *et* B *en ligne droite.* Une tige de longueur constante AB $=l$ (*fig.* 7) est assujettie à se mouvoir de telle sorte, que son extrémité A parcoure une rainure horizontale OX, tandis que B se meut dans une autre rainure OY inclinée à l'horizon d'un angle aigu constant φ. On demande une *expression générale* du rapport des vitesses simultanées V′ et V des points B et A.

On suppose que la tige AB ne dépasse pas la verticale, et on désigne par x et y les distances variables OA, OB, des points A et B au sommet O de l'angle φ.

Le principe fondamental donnera immédiatement

$$\frac{dy}{dx}=\frac{V'}{V}=\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}=\frac{l\cos\alpha}{l\cos\beta}=\frac{Ap}{Bq}$$

Ainsi, *les vitesses des points* B *et* A *sont entre elles, réciproquement, comme les projections* Ap, Bq *de la tige sur les rainures directrices du mouvement.* Ce qui constitue un théorème aussi facile à démontrer qu'à retenir.

17. Et si l'on veut une expression du rapport $\frac{V'}{V}$ en fonction des distances x et y des points A et B à l'origine O, il suffit de remarquer que

$$Ap=y\cos\varphi-x=\sqrt{l^2-y^2\sin^2\varphi}$$
$$Bq=y-x\cos\varphi=\sqrt{l^2-x^2\sin^2\varphi}$$

d'où résulte,

$$\frac{V'}{V}=\frac{dy}{dx}=\frac{y\cos\varphi-x}{y-x\cos\varphi}=\sqrt{\frac{l^2-y^2\sin^2\varphi}{l^2-x^2\sin^2\varphi}}$$

rapport qui pourrait être exprimé en fonction d'une seule distance à l'origine O, en observant que le triangle variable BOA donne entre x et y les relations

$$y=x\cos\varphi+\sqrt{l^2-x^2\sin^2\varphi}$$
$$x=y\cos\varphi-\sqrt{l^2-y^2\sin^2\varphi}$$

18. On aurait donc encore :

$$V'=V\left[\cos\varphi-\frac{x\sin^2\varphi}{\sqrt{l^2-x^2\sin^2\varphi}}\right]$$

$$V=V'\left[\cos\varphi+\frac{y\sin^2\varphi}{\sqrt{l^2-y^2\sin^2\varphi}}\right]$$

expressions dont la discussion est très-facile, comme on va le voir.

49. *Discussion du système proposé.* Supposant la vitesse V de A connue, on voit que :

Au départ $x=0$ donne $y=l=\mathrm{OL}$; β étant alors $=0$ et $\alpha=\varphi$, on a

$$V'=V\cos\varphi \quad \text{ou} \quad \frac{V'}{V}=\frac{\mathrm{O}p_0}{l}=\frac{\mathrm{O}p_0}{\mathrm{OL}}$$

y croît ensuite en même temps que x, mais la vitesse V' de B va sans cesse en diminuant de même que $\mathrm{A}p=l\cos\alpha$.

Cette vitesse V' devient enfin nulle lorsque y atteint son *maximum* $\mathrm{Y}=\frac{l}{\sin\varphi}$, $\cos\alpha$ étant alors zéro et x *maximum* et $=\mathrm{Y}\cos\varphi=\frac{l}{\tan g\,\varphi}=\mathrm{OX}=$ projection de y.

Le point A étant supposé revenir alors vers l'origine O, dx est négatif et par suite dy; — la vitesse V' de B change de sens en même temps que V; elle augmente sans cesse depuis zéro, suivant une loi donnée par l'avant-dernière formule et B arrive enfin en L avec sa vitesse maximum $(-V\cos\varphi)$ au moment où A atteint avec la vitesse $(-V)$ l'intersection O des deux rainures.

50. *Application au parallélogramme d'Olivier Evans.* On sait que ce mécanisme se compose en principe (*fig.* 8) d'une tige $\mathrm{AB}=l$ articulée en son milieu D à une bielle $\mathrm{OD}=\frac{1}{2}l$ dont l'extrémité O tourne librement autour d'un axe fixé sur la droite OA, que nous supposerons être une rainure horizontale Oa, le point A parcourant alternativement une partie de cette rainure de a vers O et de O vers a.

Désignant toujours par α et $(-\beta)$ les angles *aigus* compris entre les chemins décrits par A et B et la direction de AB, on voit facilement que A décrivant $a\mathrm{A}=-l(1-\cos\alpha)=-(l-x)$ ce mouvement du point A fait décrire à l'articulation D un chemin horizontal $-\frac{y}{2}(1-\cos\alpha)=\frac{-(l-x)}{2}$ plus un chemin vertical $+\frac{l}{2}\sin\alpha=\frac{y}{2}=\frac{\sqrt{l^2-x^2}}{2}$.

Le point B décrit simultanément le double de ce chemin vertical, soit $+l\sin\alpha=y$; mais le mouvement horizontal de ce point

est tout à fait nul, car si, en vertu de sa rotation autour de D, il marche de $+\frac{l}{2}(1-\cos\alpha)$, il rétrograde de $-\frac{l}{2}(1-\cos\alpha)$ en vertu du mouvement propre de D autour de O. Le point B jouit donc d'un mouvement seulement vertical $+$ OB et $-$ BO, et dès lors les mouvements de A et de B sont (*fig.* 9) ceux des extrémités d'une tige invariable AB assujetties à parcourir les côtés O*a*, OB d'un angle droit BOA et le principe fondamental (§ 20) donne directement :

$$\frac{\text{vit. de B}}{\text{vit. de A}}=\frac{V'}{V}=\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}=\frac{l\sin(-\beta)}{l\cos\beta}=\frac{-x}{y}=\text{tang}\,(-\beta)$$

De sorte que, dans ce mécanisme, *les vitesses simultanées des points* B *et* A *sont entre elles, réciproquement, comme les distances de ces points à l'axe fixe* O.

51. Enfin je ferai à la géométrie elle-même l'application de ce principe singulier que l'on pourrait appeler la *loi du mouvement virtuel d'une droite* et je prendrai pour objet le célèbre problème de la *Rectification de la Cycloïde* dont la solution est due à l'illustre ingénieur *C. Wren*, constructeur de Saint-Paul de Londres, et date de 1658.

Application du principe à la géométrie. Problème (*fig.* 11). $C_0A_0B_0$ est une droite verticale, diamètre $2r$ d'un cercle qu'on fait rouler sur une horizontale C_0M; on demande la *longueur* s de la courbe décrite par l'extrémité supérieure B_0 de ce diamètre depuis l'origine jusqu'à une époque quelconque du mouvement du cercle.

Soit, à cette époque quelconque, $CT=r\theta$ la longueur de l'arc, qui a déjà roulé sur C_0M, θ étant l'arc décrit alors, et mesuré dans le cercle dont le rayon $=1$.

Le centre A du cercle décrivant nécessairement une droite égale et parallèle à C_0M, $rd\theta$ est le chemin virtuel de ce centre,

Et $(90^\circ-\theta)=\alpha$ étant alors l'angle de ce chemin virtuel avec la droite AB, la projection de ce chemin sur AB sera

$$rd\theta\cos\alpha=rd\theta\sin\theta$$

D'ailleurs, le point de tangence T est visiblement le centre de rotation virtuelle du point B, qui décrit ainsi, actuellement, un petit arc ds de la courbe cherchée perpendiculaire à la corde TB et dirigé, dès lors, suivant la corde supplémentaire GB.

Donc l'angle que nous avons jusqu'ici désigné par β a pour valeur

$$\beta = 90^\circ - \tfrac{1}{2}\theta \quad \text{d'où} \quad \cos\beta = \sin\tfrac{1}{2}\theta$$

Et la projection de ds sur AB devient

$$ds \cos\beta = ds \sin\tfrac{1}{2}\theta$$

mais la loi du mouvement virtuel de AB (§ 20) exige l'égalité

$$ds \sin\tfrac{1}{2}\theta = r d\theta \sin\theta$$

donc, on a :

$$ds = \frac{r \sin\theta \, d\theta}{\sin\tfrac{1}{2}\theta} = 2r \cos\tfrac{1}{2}\theta \, d\theta$$

et $$s = 2 \times 2r \sin\tfrac{1}{2}\theta = 2 \text{ [corde de TC]}$$

ainsi *l'arc* $B_0B = s$ *de la courbe décrite par l'extrémité supérieure du diamètre est égal à deux fois la corde de l'arc* GB *ou* TC, *qui a roulé sur l'horizontale.* Résultat connu depuis deux siècles sans doute, qu'il paraîtra curieux, peut-être, d'obtenir aussi directement, et par une voie si différente de celle qu'on suit habituellement pour y parvenir.

52. Mais la *dynamique* elle-même pourra souvent tirer un utile parti de ce *principe fondamental*, parti que j'aurais même indiqué dès aujourd'hui si cette note n'était déjà longue; j'y reviendrai prochainement dans ce recueil.

SUR LA PRÉSENCE

DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE

DANS LES CALCAIRES QU'EMPLOIE L'AGRICULTURE

PAR P.-P. DEHERAIN.

Si l'usage des amendements calcaires remonte en France aux temps les plus reculés, si personne n'émet de doute sur leur utilité, on est moins bien renseigné sur les causes probables des bons effets qu'on obtient de leur emploi.

La science agricole a étudié, cependant, déjà quelques-unes des réactions qui permettent d'expliquer le rôle très-complexe du chaulage et du marnage, et nous allons les passer en revue avant d'indiquer dans les chaux agricoles la présence d'un puissant agent de fertilisation qui vient ajouter son utile influence à celle de la chaux elle-même.

Si on fait l'analyse des cendres d'un certain nombre de plantes habituellement cultivées, on y trouve des quantités notables de *chaux; quand* on a mesuré la récolte obtenue sur un hectare, *la proportion* de cendres que laisse chaque espèce végétale, on a tous les éléments nécessaires pour calculer la quantité de chaux qu'enlève chaque récolte à la surface sur laquelle elle a été cultivée; c'est ce qu'a fait M. Boussingault, auquel on doit le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES RÉCOLTES.	CHAUX dans 100 parties de cendres.	CHAUX prélevée sur 1 hectare de terre.
	k.	k.
Pommes de terre	1.8	2.2
Betteraves champêtres	7.0	14.0
Navets	10.9	5.9
Topinambours	2.3	7.6
Froment, grains	2.9	0.8
Froment, paille	8.5	16.6
Avoine, grains	3.7	1.6
Avoine, paille	8.3	5.4
Trèfle	24.6	76.3
Pois	10.1	3.1
Haricots	6.8	3.2
Fèves	5.1	3.2

On pourrait être tenté au premier abord, en voyant surtout les quantités considérables de chaux que prélèvent sur le sol le trèfle et le froment dont la culture est si répandue, on pourrait être tenté, disons-nous, d'expliquer l'utilité des chaulages ou des marnages par la nécessité où se trouve le cultivateur de donner au sol une quantité de chaux suffisante pour que les plantes l'y rencontrent toujours abondamment.

Cette explication ne tarde pas, toutefois, à devenir insuffisante devant les masses énormes de calcaires que consomme l'agriculture, car la chaux prélevée par les récoltes est loin de représenter la quantité que la pratique a reconnu utile d'employer.

La nécessité de fournir de la chaux aux plantes n'indique nullement qu'il faille enfouir sur un hectare de 40 à 50 hectolitres tous les dix ans, ainsi qu'on le fait dans le nord de la France et dans la Mayenne; de 8 à 10 hectolitres tous les trois ans, comme dans la Sarthe; de 60 à 100 hectolitres tous les neuf ans, ainsi qu'il est d'usage dans le département de l'Ain; de 4 à 6,000 kilogrammes tous les quatre ou cinq ans, ainsi qu'on le fait en Allemagne; enfin, jamais les plantes les plus avides de chaux n'en consommeront assez pour qu'on puisse expliquer l'emploi moyen de quatre à cinq hectolitres par hectare et par an.

Il a donc fallu découvrir d'autres causes de cet emploi.

L'action de la chaux sur les argiles a d'abord été invoquée; M. Fuchs de Munich, M. Kuhlmann de Lille ont montré que la chaux mise en contact avec les argiles en dégageait des quantités notables de potasse et de soude qui, étant désormais solubles, peuvent être absorbées par les plantes et servir à leur alimentation. — La chaux n'agit pas seulement sur les éléments alcalins des argiles; elle agit aussi sur le silicate d'alumine lui-même, le désagrége, l'isole probablement du silicate de potasse non encore décomposé, fait revêtir enfin à l'acide silicique une forme telle que l'eau acidulée est susceptible de le précipiter à l'état gélatineux, puis de le dissoudre.

C'est ce que démontre l'expérience suivante due à M. Isidore Pierre : en agitant un lait de chaux avec de l'argile ou de la terre de pipe délayée dans l'eau, la liqueur s'épaissit à l'instant même; abandonné ensuite à lui-même, le mélange devient sus-

ceptible de se prendre en gelée par l'addition d'un acide. Avant d'avoir été mise en contact avec la chaux, l'argile n'abandonne, au contraire, qu'une très-faible quantité de silice sous l'influence d'un acide.

La chaux est encore un puissant moyen de dissolution et par suite d'assimilation de l'acide phosphorique.

M. Paul Thénard a démontré en 1858 que la plus grande partie de l'acide phosphorique qui se trouve dans le sol arable y existe à l'état de phosphate de fer ou de phosphate d'alumine insoluble dans les acides faibles. On sait cependant que c'est surtout à l'état de phosphate de chaux que les engrais introduisent dans le sol l'acide phosphorique; la transformation est due à l'action des sesquioxydes de fer ou d'aluminium sur le phosphate de chaux naturel ou employé comme engrais. — Si, en effet, on met en contact des phosphates solubles avec le sesquioxyde de fer ou l'alumine, ou du phosphate de chaux en suspension dans l'eau de seltz avec ces mêmes oxydes, on ne trouve bientôt plus traces de phosphates en dissolution.

J'ai confirmé ces expériences de laboratoire et les observations de M. le baron Thénard par la recherche des combinaisons dans lesquelles se rencontre l'acide phosphorique dans des sols de provenance très-variée, et j'ai trouvé que sur cinq échantillons de terre dans lesquels on pouvait constater la présence de l'acide phosphorique, deux seulement en renfermaient une très-faible portion soluble dans l'acide acétique, par conséquent à l'état de phosphate alcalinoterreux.

Ainsi, dans la terre arable, l'acide phosphorique se trouve habituellement engagé dans une combinaison insoluble, inattaquable par l'eau; cependant les plantes s'assimilent cet acide phosphorique, ce qui ne peut avoir lieu qu'après sa dissolution; il importait donc de rechercher les conditions dans lesquelles a lieu cette dissolution.

Elle avait été attribuée par M. P. Thénard à l'influence du silicate de chaux; cette interprétation est peu admissible, parce qu'il n'a jamais été démontré qu'il existât dans le sol des silicates solubles, et que toutes les probabilités sont même pour que les silicates ne se rencontrent pas dans la terre arable; ils s'y trouveraient toujours, en effet, en présence de l'acide carbonique

tenu en dissolution dans l'eau, qui, comme chacun sait, décompose parfaitement les silicates solubles.

En admettant même pour un instant l'existence dans le sol du silicate de chaux, son intervention serait insuffisante pour expliquer la transformation des phosphates de sesquioxydes en phosphate de potasse, de soude ou de magnésie qui existent dans les plantes au moins aussi abondamment que le phosphate de chaux.

Si on ne peut attribuer la décomposition des phosphates insolubles du sol arable à l'action des silicates, rien n'est plus facile que d'expliquer cette décomposition à l'aide des carbonates alcalins ou alcalinoterreux.

Les expériences suivantes sont très-démonstratives [1]. J'ai placé 2 grammes de phosphate de fer $3PO^5\,2Fe^2O^3$ dans l'eau avec 4 grammes de carbonate de potasse ou de soude, et j'ai trouvé, après quarante-huit heures de contact et plusieurs fortes agitations, 0g.158 d'acide phosphorique en dissolution dans l'eau.

Si on emploie la même quantité de phosphate de fer et qu'on y ajoute 4 grammes de carbonate de chaux, puis qu'on immerge le tout dans de l'eau de seltz, on obtient 0g107 d'acide phosphorique en dissolution.

Ainsi un excès de carbonate de chaux peut amener la dissolution de l'acide phosphorique contenu dans les phosphates à base de sesquioxyde, et c'est là certainement une des utilités des calcaires, c'est de dissoudre, de mettre actuellement à la disposition des plantes une matière en réserve, conservée jusqu'alors à l'état insoluble.

On remarquera que si les carbonates en excès enlèvent ainsi de l'acide phosphorique aux phosphates à base de sesquioxyde, la réaction inverse peut avoir lieu ; en effet, nous avons vu plus haut que lorsque les sesquioxydes dominent ils peuvent décomposer les phosphates de chaux ou les phosphates alcalins, pour précipiter l'acide phosphorique. — L'influence de la masse est prédominante.

On trouve dans cette dernière observation l'explication de la quantité considérable de chaux qu'on est obligé d'employer ; si,

1. Recherches sur l'emploi agricole des phosphates, 1860.

en effet, à un moment déterminé, le carbonate de chaux ajouté, ou les carbonates alcalins qu'il a isolés des argiles ne prédominent pas sur les sesquioxydes des argiles, la dissolution n'a pas lieu, et on n'obtient pas l'effet cherché.

Ce n'est pas seulement au reste sur les principes minéraux du sol que la chaux ou son carbonate peuvent excercer leur action; il est extrêmement probable qu'ils tendent aussi à amener à l'état soluble les matières azotées qui se trouvent fixées dans le sol en quantités si considérables. En contact pendant longtemps avec des matières azotées, la chaux peut en dégager l'ammoniaque ou déterminer l'union de l'azote avec l'oxygène, pour donner naissance à de l'acide azotique, et par suite à des nitrates. Elle peut donc très-probablement déterminer la transformation de l'acide fumique de M. P. Thénard, ou d'autres matières azotées insolubles, en nitrates assimilables.

Qu'elle agisse sur des phosphates insolubles, où sur l'azote combiné du sol arable, la chaux joue donc un rôle assimilateur; elle tend à mettre actuellement à la disposition des plantes ce que la terre *conserve*, les provisions de l'avenir; aussi a-t-on toujours remarqué que l'emploi de la chaux était épuisant, et qu'il devait être accompagné d'abondantes fumures, pour que le sol restât dans les conditions favorables à l'emploi répété des amendements calcaires.

Il y a longtemps qu'on a remarqué que *la chaux enrichit le père et ruine les enfants*. On comprend ce dicton peut-être exagéré, puisque la chaux a en définitive pour fonction de faire servir actuellement les richesses que les fumures passées ont accumulées dans le sol. A ce rôle d'agent assimilateur que possède la chaux ou la marne ne s'en ajoute-t-il pas d'autres? Les amendements calcaires ne peuvent-ils pas renfermer quelques autres principes dont l'effet utile pourrait venir s'ajouter à celui de la chaux? C'est ce qu'il faut maintenant rechercher.

Le docteur Johnston a découvert, il y a déjà quelques années, une proportion notable de phosphate de chaux dans le calcaire magnésien du comté de Durham, qui renfermerait de 0,07 à 0,14 de phosphate dans 100 parties; dans le calcaire du comté de Lanark cette proportion s'élevait jusqu'à 1,25 pour 100.

Les calcaires français présentent-ils la même composition,

l'acide phosphorique s'y rencontre-t-il, et dans quelle proportion? C'est ce qu'il serait très-important de rechercher dans un grand nombre de localités; car, toutes choses égales d'ailleurs, le choix de l'industriel qui commencera une exploitation devra être déterminé par l'abondance relative de l'acide phosphorique.

Ayant eu pendant l'automne dernier à diriger les travaux chimiques d'un jeune ingénieur de l'École centrale, M. Leroy-Desclosages, je lui demandai de vouloir bien rechercher l'acide phosphorique dans quelques calcaires faciles à exploiter ou déjà en exploitation.

On suivit pour cette recherche la méthode suivante : 12 à 15 grammes de calcaire desséché étaient dissous dans l'acide chlorhydrique, on filtrait pour séparer le sable et l'argile, puis on ajoutait un excès d'ammoniaque, qu'on sursaturait ensuite par de l'acide acétique; s'il restait un précipité, il devait être formé par du phosphate de fer ou d'alumine. Ce précipité était recueilli, lavé, dissous dans l'acide chlorhydrique; on ajoutait dans la liqueur de l'acide tartrique, de l'ammoniaque et du sulfate de magnésie, et on obtenait un précipité de phosphate ammoniaco-magnésien, qu'on ne filtrait qu'après 48 heures.

La détermination des autres éléments était au reste continuée; on séparait la chaux par l'oxalate d'ammoniaque, et dans la liqueur filtrée on cherchait encore l'acide phosphorique; il ne pouvait s'en rencontrer que dans les calcaires très-purs, où la proportion de fer et d'alumine était très-peu abondante; lorsqu'au contraire cette proportion était de 7 à 8 p. 0/0 et même davantage, l'acide phosphorique avait été complétement retenu à l'état de phosphate de fer, et il fallait ajouter de l'acide phosphorique pour obtenir la magnésie, si le calcaire en renfermait.

Nous avons ainsi obtenu les nombres suivants :

Localités d'où proviennent les échantillons.	Acide phosphorique dans 100 parties.	Phosphate de chaux $PO^5 3CaO$ dans 100 parties.
Tuf calcaire d'Ouillie, environs de Lisieux (Calvados)...	1.200	2.600
Marne de Beaufour, arrondissement de Pont-Lévêque (Calvados)................................	1.450	3.131
Calcaire exploité par M. Mosselmann (Manche).......	1.218	2.714

Ces quantités sont loin d'être négligeables; ainsi le calcaire exploité par M. Mosselmann renfermant 27 kilos de phosphate de chaux dans une tonne, la chaux calcinée doit en renfermer 48; elle a donc sa valeur, augmentée de 48×0 fr. 12 c., en attribuant au phosphate de chaux un prix de 12 cent. le kilogr., c'est-à-dire que la tonne se vendant 40 fr. avant qu'on sût qu'elle renfermait de l'acide phosphorique peut se vendre aujourd'hui 45 fr. 36 c.[1].

Les cultivateurs normands emploient depuis un temps immémorial, pour fertiliser leurs terres, certains sables calcaires habituellement désignés sous le nom de tangues. Nous y avons cherché également l'acide phosphorique, et nous avons trouvé :

	Acide phosphorique dans 100 parties.	Phosphate de chaux $PO^5 3CaO$ dans 100 parties.
Tangue n° 1 (Manche)..........	3.900	8.450
Tangue n° 2 (Manche)..........	4.160	9.001

On voit d'après ces analyses que l'acide phosphorique est assez répandu dans les amendements calcaires, car les cinq échantillons analysés en ont décelé une quantité très-appréciable. — Ces faits sont importants à signaler au moment où l'exploitation de la chaux prend chaque jour plus d'importance; pendant ces dernières années, M. Mosselmann a livré près de 40 millions de kilogrammes de chaux, et sans s'en douter plus de 1 million de kilogrammes de phosphate, si, comme cela est très-probable, son calcaire présente en tous les points la même composition. La Mayenne et la Sarthe qui, il y a quarante ans, brûlaient 11,000 q. m. d'anthracite pour cuire la chaux qu'elles emploient, en brûlent aujourd'hui près d'un million et demi, toujours pour le même usage. Les chemins de fer vont activer encore l'emploi de ce précieux agent de fertilisation. — Il pourrait donc être très-utile, avant de se livrer à de nouvelles exploitations, de rechercher

1. Le calcaire Mosselmann est remarquablement pur; il renferme :

Silice et argile..............................	1.311
Chaux....................	54.972
Oxyde de fer et alumine...........	0.030
Acide phosphorique............................	1.218
Acide carbonique calculé.......................	62.341
	99.872

l'acide phosphorique dans les calcaires qui se prêtent le plus facilement à l'exploitation, et de fixer son choix sur ceux qui renferment la plus forte proportion de phosphate de chaux. — On arriverait ainsi à compenser jusqu'à un certain point les pertes que peut occasionner l'emploi exagéré de ce puissant agent assimilateur.

ÉTUDES

SUR

LES HORLOGES A PENDULE

DE GALILÉE ET DE HUYGHENS.

PAR M. BOQUILLON.

Ainsi que nous l'avons dit à la fin de la Notice biographique et bibliographique que, dans l'avant-dernier numéro des *Annales du Conservatoire*, nous avons consacrée à l'édition complète des Œuvres de l'illustre Florentin, l'opuscule de M. Alberi, qui termine le dernier volume[1], a pour nous un intérêt tout spécial, en ce que l'une des deux *divinazioni* dont s'occupe M. Alberi est notre œuvre personnelle, qui, après une attente de plusieurs années dans nos cartons, s'est matérialisée pour l'Exposition universelle de 1855, et figure depuis dans les galeries du Conservatoire.

Il y a quinze ans environ la bibliothèque du Consèrvatoire fit l'acquisition de deux volumes publiés par Venturi, sous le titre : *Memorie e lettere inedite finora o disperse di Galileo Galilei*. Modena, 1818, 1821. En parcourant cette volumineuse collection, nous trouvâmes, page 286 du second volume, une lettre de Viviani au cardinal Léopold de Médicis, en date du 20 août 1659, dans laquelle, parmi d'autres détails dont nous nous occuperons plus loin, il raconte au prince qu'en 1641 Galilée avait décrit, devant lui, à son fils Vincent, les conditions d'après lesquelles il croyait qu'on pouvait appliquer le pendule comme régulateur de la marche des horloges; mais que ce ne fut toutefois qu'en avril 1649, sept ans après la mort de Galilée, que Vincent se mit à l'œuvre pour réaliser les conceptions de son père.

Voici, d'après Venturi, le texte même de Viviani, décrivant le mécanisme exécuté en partie de la main de Vincent Galilée.

« Procurò dunque di aver un giovine che vive ancora, chia-

1. *Dell' orologio a pendolo di Galileo Galilei e di due recenti* divinazioni *del mecanismo da lui imaginato.*

« mato Domenico Balestri, magnano in quel tempo al Pozzo di « Pontevecchio, il quale aveva qualche pratica nel lavorare « grandi oriuoli da muro, e da esso fecesi fabbricare il telajo di « ferro, le ruote con i loro fusti e rocchetti, senza intagliarle, ed « il restante lavorò di propria mano, facendo nella ruota più « alta detta *delle tacche* num. 12 denti, con altrettanti *pironi* « scompartiti in mezzo fra dente e dente, e col rocchetto nel « fusto di num. 6; et altra ruota che muove la sopraddetta di « num. 90. Fermò poi da una parte del bracciuolo, che fa la « croce al telajo, la chiave o scatto, che posa sulla detta ruota « superiore, e dal altra impernò il pendolo, che era formato di « un filo di ferro, nel quale stava infilata una palla di piombo, « che vi poteva scorrere a vite, a fine di allongarlo o scorciarlo « secondo il bisogno di aggiustarlo col contrappeso. Ciò fatto, « volle il signor Vincenzio, che io (come quegli ch' era consape- « vole di questa invenzione, o che l' avevo stimolato ad effettuar- « la) che vedessi cosi per prova e più d' una volta la congiunta « operazione del contrappeso e del pendolo; il quale stando fermo « tratteneva il discender di quello, ma sollevato in fuori e lasciato « poi in libertà, nel passare oltre il perpendicolo, con la più « lunga delle due code annesse all' impernatura del dondolo, « alzava la chiave che posa ed incastra nella ruota delle tacche, « la quale tirata dal contrappeso, voltandosi con le parti supe- « riori verso il dondolo, con uno de' suoi pironi calcava per « disopra l' altra codetta più corta, e le dava nel principio del « suo ritorno un impulso tale, che serviva d' una certa accompa- « gnatura al pendolo, che lo faceva sollevare fino all' altezza « donde s'era partito; il qual ricadendo naturalmente e trapas- « sando il perpendicolo, tornava a sollevare la chiave, e subito « la ruota delle tacche in vigor del contrappeso ripigliava il suo « moto seguendo a volgersi e spingere col pirone susseguente il « detto pendolo; e così in un certo modo si andava perpetuando « l' andata e tornata del pendolo, sino a che il peso poteva calare « a basso. »

A la lecture de cette description tout doute disparut, dans notre esprit, sur la question qui, depuis deux siècles, restait, pour quelques-uns, sans solution; qui, pour le plus grand nombre, et parmi ceux-ci les plus autorisés, se tranchait en faveur d'Huyghens contre Galilée, quant à la première application du

pendule aux horloges. Il nous semblait impossible d'admettre que les détails minutieux dans lesquels entre Viviani, ne fussent pas réalisables, n'eussent pas été réalisés, et surtout ne pussent pas produire le résultat annoncé.

Sous cette impression, nous résolûmes de tenter une nouvelle réhabilitation de Galilée, en essayant de matérialiser les indications de Viviani, et de donner, s'il était possible, un corps à ce qui n'était qu'une très-vague apparence.

La tâche était ardue : Viviani expliquait évidemment un dessin qui, parlant suffisamment aux yeux, le dispensait d'entrer dans des détails qu'il devait considérer comme oiseux pour son lecteur; et ce dessin nous manquait. Dans les portions les plus intelligibles du texte, une ponctuation fautive nous aurait plusieurs fois induit en erreur, si nous n'avions pas réussi à la corriger. La signification des mots techniques employés par Viviani ne fut pas le moindre obstacle à surmonter. Tout semblait donc concourir à épaissir l'obscurité d'un texte où nous voulions porter la lumière.

Il ne nous fut pas difficile de comprendre que Vincent Galilée s'adressa d'abord à un jeune ouvrier qui avait quelque pratique dans la fabrication des grandes horloges, pour lui faire exécuter le cadre, le bâti (*telajo*) de fer, les roues avec leurs arbres (*ruote con i loro fusti*) et leurs *rocchetti*. Ce mot nous arrêta quelque temps, parce que tous les dictionnaires à notre disposition le traduisaient par *rochets*, ce qui n'était pas admissible. Mais, si toutes les roues, ou plutôt tous les arbres d'une horloge ne peuvent pas porter de rochets, ils peuvent et presque tous doivent porter des *pignons*. Ce fut à cette signification que fut donnée la préférence. Là se bornait le travail de l'ouvrier Balestri, qui ne tailla ni les roues ni les pignons. Ce fut l'œuvre de Vincent Galilée, qui donna douze dents à la roue la plus haute, *detta delle tacche*. Tous nos dictionnaires traduisaient *tacca*, au pluriel *tacche*, par *coche*, *entaille*, expression dont la généralité pourrait s'appliquer à toutes les roues d'engrenage, sans caractériser particulièrement celle-ci, comme l'avait évidemment voulu faire Viviani. Cependant, en comparant les définitions de deux mots, *tacca* et *taglia*, dans l'un de ces dictionnaires, il en résulta, pour nous, que *tacca* pouvait signifier l'encoche pratiquée sur une *taille* ou réglette de bois pour marquer le prix des choses achetées à crédit, ainsi que nous l'avions

vu faire dans quelques villes de province. Or, cette encoche est produite par deux coups de couteau : l'un perpendiculaire aux fibres du bois, l'autre oblique et marchant à la rencontre du premier; d'où résulte une forme analogue à une dent de rochet, ce que nous confirma l'indication donnée plus loin que la *chiave* (la clef) reposait sur et *s'encastrait dans la roue delle tacche.*

Conclusion : La roue la plus élevée de l'horloge était une *roue à rochet*, de douze dents, armée de son *cliquet*.

Mais cette roue à rochet, de douze dents, comportait *autant de* pironi *répartis au milieu, entre dent et dent.* Nouvelle obscurité, et la plus grande de toutes. Aucun dictionnaire, pas même celui de la Crusca, ne donnait le mot *pirone*, lorsqu'enfin, à force de recherches, le *Dictionnaire d'Alberti di Villanova*, 3e édit., *Nizza*, 1788, nous tomba sous la main à la Bibliothèque de l'Institut. On y lit :

PIRONE, s. m. Voc. Dis. Vetto, manovella, spezie di leva, *levier*.

VETTO. Galil. Leva, *levier*.

Le doute n'était pas permis. C'était bien de leviers qu'il s'agissait : il en fallait douze. Chacun d'eux occupait le milieu entre deux dents de la roue *delle tacche*, condition contradictoire avec les fonctions du cliquet sur les dents du rochet ; bien plus, absence complète de toute indication quant aux formes, aux conditions matérielles de ces leviers.

La réflexion nous amena à penser que Viviani, supposant naturellement son dessin sous les yeux du lecteur, avait voulu parler, dans son texte un peu trop elliptique, de la projection de ces leviers sur la roue ; puis, nous rappelant avec quelle prodigalité l'ancienne horlogerie employait les *étoiles* pour produire certains effets de *sautage*, nous arrivâmes à conclure qu'une étoile à douze branches fixée sur le même axe que la roue, avec cette condition que chaque branche se projetterait sur le milieu de l'intervalle qui sépare deux dents, réaliserait la pensée de Viviani, qui nous apparaissait plus clairement dans les détails qui suivent.

Le pignon de six ailes placé sur le même axe, et la roue de quatre-vingt-dix dents qui menait la première, ne présentaient aucune difficulté.

Le paragraphe suivant n'était pas sans obscurité :

« Il fixa ensuite, *da una parte* du *bracciuolo*, qui fait la croix

« avec le bâti, la clef ou échappement qui repose sur ladite roue « supérieure, et, de l'autre, il pivota le pendule... »

Le mot *bracciuolo* se traduit par *appui*, *accotoir*, *bras de chaise*, *petit bras*. En prenant à la lettre les expressions de Viviani, il doit *faire la croix avec le bâti : da una parte* peut s'entendre aussi bien de l'une des deux parties qui, dans ce cas, déborderaient les deux faces du châssis ou bâti, que des deux *côtés*, ou des deux faces verticales et parallèles du *bracciuolo* lui-même.

Nous nous étions d'abord arrêté à la première version pour rester, autant que possible, d'accord avec la lettre du texte; mais, comme les conditions qui nous restent à décrire, et qui sont d'une netteté absolue dans le texte de Viviani, conduisaient nécessairement à une grave imperfection dans l'œuvre de Galilée, notre respect pour la mémoire de l'illustre Florentin nous a fait donner la préférence à la seconde interprétation qui fait disparaître cette imperfection, et que semblait d'ailleurs autoriser la traduction du mot *bracciuolo* par *bras de chaise;* d'où il est résulté que, dans notre *divinazione*, comme la qualifie M. Alberi, la croix est devenue une *potence,* à l'extrémité de laquelle nous avons pu placer *concentriquement* le pivot du cliquet et celui du pendule.

Continuant sa description, Viviani explique que le pendule était formé d'un fil de fer sur lequel était enfilée une boule de plomb qu'on pouvait élever ou abaisser au moyen d'une vis, *afin*, dit-il, *d'ajuster le pendule avec le contre-poids* [1].

« Le seigneur Vincenzio voulut que je visse plus d'une fois « l'opération simultanée (*congiunta*) du contre-poids et du pen« dule, lequel, étant arrêté (*stando fermo*), empêchait la descente « de celui-là; mais, soulevé en dehors, puis laissé en liberté, « en passant au delà de la perpendiculaire, avec *la plus longue*

[1] Cette dernière indication, qui pourrait paraître une erreur sous la plume de Viviani, peut, en y réfléchissant bien, devenir une preuve de sagacité singulière. Le mécanisme de Galilée implique de très-grands arcs d'oscillation de la part du pendule. La durée de ces oscillations est d'autant plus grande que ces arcs sont plus grands, et la grandeur de ces derniers est proportionnelle au contre-poids. De là la nécessité, pour une durée donnée, une seconde par exemple, de faire un pendule d'autant plus court que le contre-poids sera plus pesant. Cette nécessité disparaît lorsque, comme dans l'horlogerie actuelle, on ne fait parcourir au pendule que de très-petits arcs.

« *des deux queues* annexées au pivot du pendule, soulevait la clef
« qui pose sur et s'encastre dans la roue *delle tacche*, laquelle,
« tirée par le contre-poids, tournant par ses parties supérieures
« vers le pendule, avec un de ses *pironi*, pressait par-dessus
« l'autre queue plus courte, et lui donnait, au commencement
« de son retour, une impulsion telle qu'elle servait d'accompa-
« gnement assuré au pendule, qui le faisait soulever jusqu'à la
« hauteur d'où il était parti; lequel retombant naturellement, et
« dépassant la perpendiculaire, revenait soulever la clef; et
« aussitôt la roue *delle tacche*, sous l'action du contre-poids, repre-
« nait son mouvement, continuant à tourner et à pousser, avec le
« *pirone* suivant, ledit pendule; et ainsi, d'une manière certaine,
« se perpétuait l'aller et le retour du pendule jusqu'à ce que le
« poids fût arrivé en bas. »

Nous croirions faire injure à la sagacité de nos lecteurs en ajoutant quelque chose à cette traduction, aussi littérale que nous avons pu la faire, pour compléter, dans leur esprit, les conditions que comportait l'œuvre de Galilée.

Dès à présent, ils voient un rouage d'horlogerie terminé par une roue à rochet qu'arrête un cliquet; une série d'organes dépendant de cette roue, et en nombre égal à celui de ses dents, chargés d'agir successivement sur l'une des deux queues du pendule pour le repousser jusqu'à la hauteur de son départ, lorsque l'autre queue a dégagé la roue à rochet en soulevant le cliquet qui la retenait; ils voient, sans que Viviani ait eu besoin de le dire, le cliquet retomber lorsque le pendule s'en retourne sous l'impulsion de l'un des pironi, et venir arc-bouter la dent suivante de la roue à rochet, jusqu'à ce qu'une nouvelle oscillation du pendule soulève de nouveau le cliquet et remette la roue à rochet en liberté.

Nous espérons enfin que, lorsqu'ils jetteront les yeux sur la figure première, ils y trouveront la traduction logique des divers énoncés de Viviani, et la solution matérielle du problème que Galilée s'était donné à résoudre.

A roue à rochet de 12 dents : *ruota delle tacche*.

BBBB étoile comportant 12 branches ou *pironi*, se projetant chacune sur le milieu de l'intervalle qui sépare deux dents de la roue A, avec laquelle cette étoile est solidaire dans son mouvement de rotation.

C cliquet, *chiave* ou *scatto*, reposant sur et s'encastrant dans la roue A.

D grande queue fixée au pivot du pendule P et venant soulever le cliquet C [1] lorsque le pendule a dépassé la verticale, ainsi que le représente la figure.



Fig. 1.

E petite queue sur laquelle agit l'un des *pironi* B pour repousser le pendule lorsque la grande queue D a dégagé la roue A en soulevant le cliquet C.

F corde du contre-poids passant sur une gorge solidaire avec une troisième roue dont ne parle pas Viviani, mais qu'exigeait l'ap-

[1] La queue D et le cliquet C ayant le même centre de mouvement ne peuvent être sur le même plan; c'est pourquoi une petite barrette transversale C', fixée sur le cliquet, sert de point d'attaque à la queue D.

pareil pour donner, à sa marche, la durée nécessaire pendant l'ouverture des galeries du Conservatoire où notre modèle est déposé.

P pendule.

C'est dans ces conditions que l'appareil s'est présenté à l'exposition universelle de 1855. A côté figurait une copie du texte de Viviani.

La plupart des Italiens qui eurent occasion de l'examiner voulurent bien nous faire compliment sur la solution que nous avions trouvée au problème; M. Corridi, commissaire pour la Toscane, s'empressa même de commander un appareil semblable à M. J. Wagner, l'habile horloger qui avait exécuté le nôtre, et de le faire placer dans l'*Istituto tecnico* de Florence. *Ma* (ce malheureux *mais* appartient à toutes les langues, abonde sur toutes les lèvres), *ma* nous avions mal interprété le mot *pirono*, *pirone*, qui ne signifie pas, comme le veut M. Alberti di Villanova, un *levier*, mais une *cheville*. Nous eûmes beau dire que nous n'avions trouvé ce mot *pirone* que dans ce seul dictionnaire, avec cette seule signification de *levier;* que sa traduction par le mot *cheville*, si nous l'avions rencontrée une seule fois, nous aurait épargné bien des heures de réflexions et même d'insomnie, tant l'idée d'un *levier* placé au milieu de l'intervalle qui sépare deux dents d'une roue nous paraissait monstrueuse, tandis que, familier avec les questions de l'horlogerie moderne, nous n'aurions eu qu'à nous souvenir de milliers d'exemples pour planter chaque cheville sur la face de la roue en regard du milieu du vide entre deux dents; rien n'y fit. Nous étions atteint et convaincu d'une erreur dont rien ne pouvait nous absoudre, et que Galilée lui-même n'aurait pu nous pardonner.

M. Alberi ne va pas aussi loin; il accepte que l'échappement de notre horloge répond, *in genere*, à la conception de Galilée, mais *moins heureusement* que celui du professeur Veladini, dont nous nous occuperons plus loin.

Notre réponse sera nette et précise. L'extrémité de chaque pointe de notre étoile, de chacun de nos leviers, occupe exactement la place qu'occuperait chaque *cheville*, si un seul dictionnaire nous eût donné cette traduction du mot *pirone;* cette extrémité fonctionne exactement, rigoureusement, dans les mêmes conditions que le ferait cette cheville qui, substituée au levier, n'apporterait pas la moindre modification à la marche de l'appa-

reil, et n'aurait pas, comme le pense M. Alberi, amené d'autres modifications dans le reste de notre mécanisme.

Après l'exposition de 1855, le dessin qui accompagnait la lettre de Viviani fut retrouvé; M. Alberi l'a reproduit dans son opuscule et nous le copions ici (*fig.* 2).

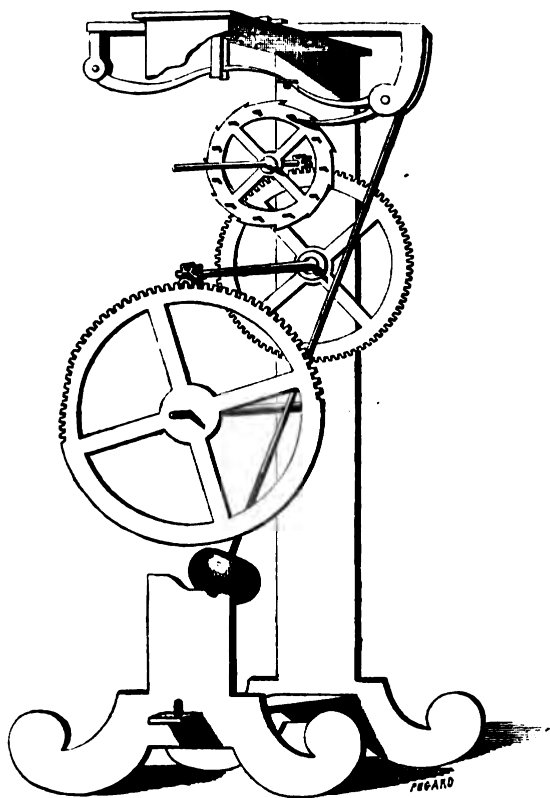


Fig. 2.

En comparant ce dessin au nôtre, le lecteur verra que ce sont bien des chevilles que Galilée avait voulu employer et que Viviani désigne sous le nom de pironi, mais encore que nous avons commis une autre erreur en ne tenant pas assez compte du sens littéral de Viviani; que le *bracciuolo che fa la croce al telaio* est bien une traverse dépassant le bâti de chaque côté; que le cliquet (chiave) a son centre de mouvement à l'extrémité de l'*un des deux*

bras de cette traverse, et que le centre de mouvement du pendule est à l'extrémité de l'autre bras, disposition à laquelle nous nous étions arrêté d'abord, mais qui présente une imperfection tellement grave au point de vue de la chronométrie pratique, que, dans l'indécision où nous tenaient nos dictionnaires sur la définition du mot *bracciuolo*, traduit par *bras de chaise*, nous n'avions pas voulu en charger la mémoire de Galilée.

En effet, si l'on examine comment la grande queue du pendule soulève le cliquet, on voit que, depuis le moment du contact jusqu'à la plus grande élévation de ce cliquet, il s'établit, entre les deux pièces, un frottement du premier genre, un frottement de glissement qu'en horlogerie on évite par tous les moyens possibles, lorsque cela est praticable, surtout lorsqu'il s'agit de l'échappement, parce que ce genre de frottement absorbe une force considérable, et qu'il est de règle qu'en ce point, la force motrice, successivement atténuée par les rouages, soit seulement suffisante pour restituer au pendule la vitesse que lui font perdre les résistances qu'il a à surmonter.

Or, dans le dessin original, le pendule doit non-seulement vaincre le frottement du cliquet contre la face de la dent qu'il retient et qui est toujours proportionnel à l'intensité de la force motrice en ce point, mais encore le frottement de la grande queue du pendule contre ce même cliquet pendant toute la durée du dégagement.

Il en résulte nécessairement que, pour vaincre cette double résistance, le pendule doit partir de plus haut que s'il n'en avait qu'une seule à surmonter; qu'en d'autres termes, il faut lui faire parcourir un plus grand arc; que, par conséquent, la force motrice, qui doit lui restituer la vitesse absorbée par ces résistances, doit être plus grande, bien que cette augmentation ait, pour conséquence, l'augmentation de ces mêmes résistances.

On est donc là dans un cercle complétement vicieux.

Si notre solution du problème n'en fait pas sortir tout à fait, on nous accordera qu'elle atténue notablement les inconvénients signalés, en ce sens qu'il n'existe de frottement d'aucun genre entre la grande queue du pendule et le cliquet, par suite de la concentricité du mouvement de ces deux pièces, qui ont rigoureusement les mêmes points de contact pendant toute la durée de leur mouvement. D'où il résulte que le pendule, n'ayant à

opérer que le dégagement de la roue, perd moins de sa vitesse et n'exige qu'une impulsion moindre pour remonter à son point de départ nécessairement moins élevé.

A côté du dessin original de Galilée, M. Alberi reproduit celui d'une autre *divinazione*, faite par M. le professeur Veladini, membre de l'Institut lombard des sciences, des lettres et des arts, et auteur d'un mémoire intitulé : *Sulla prima applicazione del pendolo agli orologi,* lu dans la séance du 6 juillet 1854.

Nous ne connaissons, de ce mémoire, que quelques extraits publiés dans l'opuscule de M. Alberi. Aucun de ces extraits ne rend compte des considérations qui ont déterminé M. Veladini à adop-

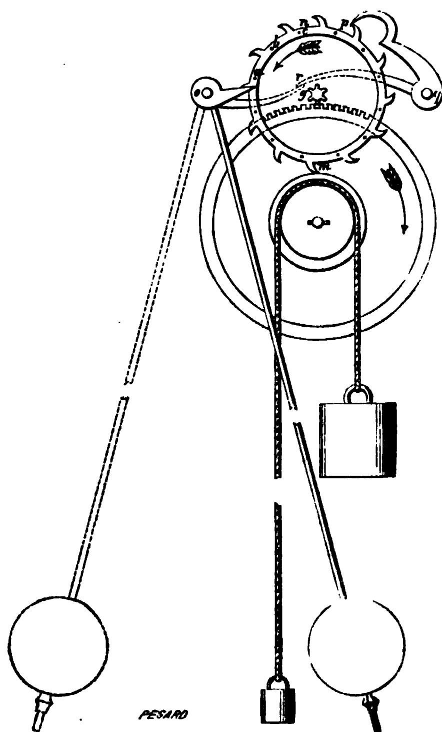


Fig. 3.

ter, notamment pour la *chiave* et les dents de la roue *delle tacche*, les formes que nous reproduisons ici, fig. 3, d'après la figure de M. Alberi.

Les *pironi* de M. Veladini sont bien des *chevilles*, nous le reconnaissons; comme dans le dessin original de Galilée, le centre de mouvement de la *chiave* et celui du pendule sont bien aux deux extrémités d'une traverse qui fait la croix avec le bâti, nous le reconnaissons encore, et nous ne faisons aucune difficulté d'avouer qu'en cela M. Veladini a été, non *plus heureux* que nous, mais plus *exactement fidèle* au texte de Viviani.

Mais quelle expression de ce texte a pu lui indiquer la forme des dents de sa roue *delle tacche?* D'après quelle autre indication a-t-il donné deux branches à sa *chiave*, et a-t-il terminé la branche supérieure par cette courbe qui en rend le fonctionnement impossible?

Jamais cette courbe, quel que soit le point où l'on place le centre de mouvement de la *chiave*, n'arc-boutera les dents de la roue, quelque forme qu'on leur donne. Aussitôt le poids remonté, le rouage se mettra à *courir*, même le pendule arrêté (*stando fermo*, comme dit Viviani), et rien n'empêchera la descente rapide du poids.

Cette opinion n'est pas seulement la nôtre : nous étions trop intéressé dans la question pour ne pas craindre d'être accusé de partialité en nous faisant juge et partie, en prononçant seul dans notre propre cause. Nous avons soumis les trois dessins à des hommes d'une parfaite compétence en la matière, et tous ont déclaré qu'une pièce exécutée dans les conditions représentées par le troisième dessin ne pourrait pas fonctionner.

Au surplus, le public compétent est maintenant en possession de tous les documents nécessaires; et nous croyons fermement que, s'il nous trouve *moins exact*, sur certains points, que M. Veladini, il nous trouvera beaucoup *plus exact* que lui sur les points essentiels, et surtout beaucoup *plus heureux* quant au résultat obtenu.

Mais c'est assez occuper de nous le lecteur. Abordons une question plus intéressante pour lui.

En 1658 parut, en hollandais, chez Vlacq, à La Haye, la première publication d'Huyghens sur l'application du pendule aux horloges. Cette application consiste essentiellement dans la substitution du pendule au balancier circulaire, ou tourniquet suspendu par une corde, et portant, sur la prolongation inférieure de son axe, les deux palettes faisant partie de l'échappement en-

core bien connu sous le nom d'*échappement à verge, à palettes ou à roue de rencontre*.

Pour faire cette application, Huyghens n'eut besoin que de renverser la position des axes des derniers mobiles de l'horloge, pour rendre horizontal, de vertical qu'il était, l'axe portant les palettes de l'échappement, auquel il n'aurait pu fixer directement le pendule.

Mais la notion de l'inégalité de durée des oscillations d'un même pendule parcourant de grands et de petits arcs était alors devenue vulgaire, et cette inégalité dépend évidemment des variations plus que probables de la force motrice employée, quelle qu'elle soit.

Huyghens rendit son pendule *isochrone*, c'est-à-dire faisant des oscillations égales en durée quel que fût l'arc parcouru, en suspendant le pendule, non à l'axe des palettes, mais à un fil placé entre deux courbes métalliques, tracées, chacune, par un même arc de cycloïde, et contre lesquelles le fil venait s'appliquer à chaque oscillation. L'organe, encore aujourd'hui nommé *fourchette*, transmettait, au pendule, le mouvement imprimé aux palettes.

Quelque vraie que soit la théorie d'Huyghens, on ne tarda pas à reconnaître qu'elle était d'une application difficile, sinon impossible, dans la pratique; et, comme il résulte, de cette même théorie, que les petits arcs d'un cercle se confondent sensiblement avec les arcs de cycloïde de même étendue, on s'attacha à rechercher les conditions d'un échappement qui, au contraire de l'échappement à palettes, permettrait de très-petits arcs d'oscillation.

C'est ce qu'on obtint, vers 1680, au moyen de l'échappement à ancre, attribué, par les uns, à Hooke, par d'autres, à Clément, horloger de Londres.

Dès lors il ne resta plus rien, dans la pratique, de l'invention d'Huyghens, si ce n'est la fourchette, puisque, dans l'application du pendule, il avait été primé par Galilée.

Quelques mots sur les mérites comparatifs de ces deux applications par Huyghens et par Galilée.

Chez Huyghens, emploi d'un échappement connu, application à cet échappement d'un organe bien connu quant aux propriétés régulatrices.

Résultat : appareil astronomiquement nul ou presque tel; l'aiguille marquant les plus petites divisions du temps, étant toujours en mouvement, soit en avant soit en arrière, avec des vitesses variables, dans des conditions telles enfin qu'il devient très-difficile de saisir le commencement et la fin d'une oscillation du pendule.

Galilée, au contraire, trouve tout dans son propre fonds. Le pendule et ses propriétés régulatrices lui appartiennent; l'échappement tout entier est son œuvre.

Résultat : si un léger recul est nécessaire pour assurer le dégagement du rouage, la fixité de l'aiguille, au moment où la roue à rochet est arrêtée par le cliquet, donne un repère absolu à l'œil de l'observateur, ainsi qu'à son oreille. A la vérité, chaque mouvement de l'aiguille exige une oscillation double de la part du pendule; mais, si, comme dans les pièces astronomiques employées partout, on borne, à la *seconde*, la plus petite division du temps, il suffira de donner, au pendule régulateur, la longueur que comporte la *demi-seconde* pour que l'aiguille accuse exactement des durées égales, chacune, à la seconde.

Comme résultat, Galilée est donc de beaucoup supérieur à Huyghens.

Notre enthousiasme pour Galilée ne va pas toutefois jusqu'à nous faire prétendre que son œuvre ait atteint les limites de la perfection et qu'il faille se hâter d'en appliquer les principes aux pièces dites de précision.

La grandeur des arcs d'oscillation que détermine ce genre d'échappement, indépendamment d'autres considérations, nous paraît devoir rester un obstacle absolu à cette application qui, sous des formes très-variées, a été tentée, à diverses reprises, sous les noms d'*échappement libre* [1], *à vibrations libres*, *à coup perdu*, *etc.*, *etc.*, sans jamais atteindre à la précision des pièces employées dans les observatoires modernes.

On en fait un assez fréquent usage dans l'horlogerie de commerce, pour donner, à des pièces de cheminée, l'apparence de *régulateurs à seconde;* le pendule que comporte ces pièces n'ayant alors que la longueur qui donne la demi-seconde.

[1] Ce nom exprime que, aussitôt l'impulsion reçue, le pendule achève sa double oscillation, sans aucune connexion avec le rouage qui, lui-même, est complétement arrêté, jusqu'à ce que le retour du pendule vienne le dégager.

Arrivons maintenant à cette longue et triste polémique qui, pendant deux siècles, a maintenu Huyghens sur le piédestal que Galilée n'aurait pas dû cesser d'occuper.

En 1657, le prince Léopold de Médicis, depuis cardinal de Médicis, fonda la célèbre *Academie del Cimento* (*de l'Essai*) [1] qui, en 1666, publia la première édition de ses *Saggi* (*essais, expériences*), puis se sépara, nous ne savons sous quelle influence. Une autre édition, dont la bibliothèque du Conservatoire possède un exemplaire, fut publiée en 1691. On y lit pages 21 et 22 :

« Qui par luogo di dire, che l'esperienza ch' avea mostrato, « (come fu anche avvertito dal Galileo, doppo l'osservazione « che prima d'ogni altro ei fece intorno all' anno 1583, della lo« ro prossima ugualita), non tutte le vibrazioni del pendolo cor« rere in tempi precisamente tra loro uguali, ma quelle che di « mano in mano s'accostano alla quiete, spedirsi in piu breve « tempo che non fanno le prime, come si dirà a suo luogo. Per« tanto in quell'esperienze che richiedono squisitezza maggiore, « e che sono di sì lunga osservazione, che le minime disugua« glianze di tali vibrazioni, dopo un gran numero arrivano a « farsi sensibili, fu stimato bene applicare il pendolo all' oriuolo « sull'andar di quello, che prima d'ogni altro immaginò il Galileo, « e che dell' anno 1649 messe in pratica Vincenzio Galilei suo fi« gliuolo. Così, e necessitato il pendolo dalla forza della molla, « o del peso a cader sempre della medesima altezza; onde con « iscambievol benefizio non solamente vengono a perfettamente « uguagliarsi i tempi delle vibrazioni, ma esiandio a correggersi « in certo modo i difetti degli altri 'ngeni di esso oriuolo. »

A la marge de ce paragraphe on lit l'annotation suivante :

« Osservazione del Galileo : non tutte le vibrazioni d'uno « stesso pendolo correre sotto tempi uguali. »

Il résulte évidemment de ce texte qu'à la connaissance des personnes composant l'académie del Cimento, Galilée avait constaté l'inégalité de durée des oscillations d'un même pendule parcourant de grands et de petits arcs ; qu'il avait songé à y remédier;

[1] Elle existait, pour ainsi dire, de fait du temps de Galilée, qui avait pour collaborateurs Torricelli, Agiunti et Viviani, auxquels s'adjoignirent, lors de sa fondation officielle, Paul et Candide del Buono, Alphonse Borelli, Alexandre Marsili, François Redi. et le comte Laurent Magalotti, qui en fut le secrétaire.

que son fils Vincent avait, en 1649, réalisé matériellement la conception de Galilée; qu'enfin les conditions de cette matérialisation leur étaient connues puisque, pour obtenir l'exacte mesure du temps dans leurs expériences, les académiciens s'étaient décidés « à appliquer le pendule à l'horloge, à l'instar de ce que « (*su l'andar di quello*), avant tout autre, Galilée imagina, et qu'en « l'année 1649, Vincent Galilée, son fils, mit en pratique. »

Il semblerait qu'une pareille déclaration, venant d'hommes aussi haut placés dans la science et dans l'estime publique par le soin singulier qu'ils apportaient dans leurs expériences, ne pouvait laisser aucun doute sur la vérité de leur assertion [1]. Il n'en fut pas ainsi.

Mais n'anticipons pas sur l'ordre des faits.

Il est évident que les membres de l'Académie del Cimento n'attendirent pas la publication des *Saggi* pour faire usage de l'instrument chronométrique dont ils parlent au commencement du volume, et qu'il faut en faire remonter l'exécution à une époque très-antérieure à 1666. Nous ne savons sur quelles données Nelli, dans l'ouvrage intitulé : *Vita e commercio litterario di Galileo*, fixe au 11 août 1662 la date de cette application. Mais il y a toute probabilité que cette décision ne fut prise qu'après le 20 août 1659, date de la lettre de Viviani qui ne la mentionne pas et qui cependant faisait partie de l'Académie.

On ne trouve de motifs plausibles à la lettre de Viviani que dans les prétentions d'Huyghens sur la priorité de l'application du pendule aux horloges. Cette lettre, comme nous l'avons déjà dit, est adressée au cardinal de Médicis, et nous verrons plus loin que, dans cette année 1659, Huyghens ne se faisait pas faute de sollicitations auprès du prince sur le même sujet.

Viviani débute, dans sa lettre, par le récit très-longuement

[1] Nous devons dire ici, pour rester dans la stricte vérité, que les nombreuses figures d'horloges qui se trouvent dans notre édition des *Saggi*, n'en représentent que l'extérieur comportant un pied vertical, au haut duquel est placé horizontalement un tronçon de cylindre dont la face supérieure porte une aiguille se mouvant sur un limbe circulaire, divisé en 15 parties numérotées. La tige du pendule sort de la face inférieure qui porte, de l'autre côté du pied, un carré de remontoir ; une clef est suspendue au pied par un cordon. Dans plusieurs passages du texte l'appareil est désigné sous le nom de *mostra*, montre.

détaillé de la découverte que fit Galilée des propriétés du pendule vers 1683, et qui eut pour point de départ l'observation du balancement d'une lampe suspendue sous le dôme de Pise.

Il raconte ensuite au moyen de quelles expériences Galilée arriva à en fixer les lois, et comment, ayant l'intention d'envoyer son fils Vincent en Hollande, avec le père Renieri, pour l'affaire des longitudes, il imagina, un jour de l'année 1641, les conditions qui pouvaient permettre d'appliquer le pendule, comme régulateur, aux horloges, et les communiqua à plusieurs reprises à son fils, en présence de Viviani,

Mais, comme on craignait la divulgation de cette invention, si on en confiait l'exécution à des ouvriers, il fut convenu que Vincent Galilée l'exécuterait de ses propres mains.

Quelques mois après, le 8 janvier 1642, Galilée était enlevé à la science et à ses amis. Ce ne fut qu'au mois d'avril 1649 que Vincent Galilée se mit à l'œuvre.

(Ici se trouve la description dont nous avons donné le texte.)

Viviani continue, et raconte qu'il se présenta certaines difficultés *que* V. Galilée se promettait de surmonter; qu'enfin il avait *imaginé* d'autres conditions pour adapter le pendule aux horloges; mais qu'étant déjà aussi avancé dans son premier essai, il voulait le terminer sur le même plan, en y ajoutant les aiguilles pour les heures et les minutes. En conséquence, il se mit à tailler une autre roue dentée. Mais à ce travail, auquel il n'était point habitué, vint se joindre une fièvre très-aiguë qui l'emporta après vingt jours de maladie, le 16 mai 1649, laissant son œuvre inachevée.

Viviani rappelle ensuite au cardinal qu'il y a quatre ans, c'est-à-dire en 1655, le grand-duc avait manifesté le désir d'avoir, avec certitude et sans ennui, le nombre des oscillations d'un *pendule libre*, indépendant de tout moteur étranger; qu'alors lui, Viviani, avait fait voir au prince une lettre de Galilée dans laquelle ce dernier estimait la chose faisable, et en décrivait les conditions pratiques qu'il avait envoyées en Hollande.

Ici, Viviani reproduit un fragment d'une lettre de Galilée, du 6 juin 1637, adressée à Lorenzo Realio, à Amsterdam, et dans laquelle il décrit, indépendamment de divers moyens à employer pour se servir du télescope en mer, un appareil compteur des oscillations du pendule.

Le pendule devait avoir la forme d'un secteur de cercle de 12 à 15 degrés, dont le rayon aurait eu deux ou trois palmes de long; épais au milieu et s'amincissant vers les bords, terminés par une arête tranchante (*tagliente*), pour diminuer autant que possible la résistance de l'air, *seule cause de retardement*. Le centre devait être traversé par une petite pièce de fer formant un angle dont l'arête reposerait sur des supports en bronze (ce qui, par parenthèse, fait remonter à Galilée l'invention de la *suspension* dite *à couteau*). Une pointe très-délicate, fixée au bas du secteur, aurait atteint, à chaque passage, une soie de porc fixée par l'une de ses extrémités, l'autre reposant sur les dents d'une roue à rochet horizontale, aussi légère que possible; d'où il résulterait que, dans l'aller du pendule, la soie ferait marcher la roue d'une dent, mais glisserait sur cette dent lors du retour de ce même pendule. Cette première roue aurait pu en conduire d'autres et permettre ainsi de compter un nombre quelconque des oscillations du pendule.

Viviani ajoute que Filippo Treffler, ouvrier ingénieux, originaire d'Augsbourg, exécuta, pour le grand-duc, cette jolie petite machine (*galante machinetta*), et imagina diverses dispositions pour faire remonter le pendule à son point de départ initial lorsque son mouvement était sur le point de s'arrêter.

« A la même époque, continue Viviani, l'ingénieur Fr. Gene-« rini présenta au grand-duc un modèle en fer dans lequel le « contre-poids était uni au pendule de la même manière (*in modo* « *simile*) que Galilée l'avait imaginé quatorze ans auparavant; « mais avec des applications diverses et très-ingénieuses. Le « même Filippo Treffler adapta l'invention à une horloge de « chambre pour Son Altesse, laquelle donnait les heures et les « minutes. Il en fabriqua ensuite pour Leurs Altesses de très-« exactes, dans lesquelles le temps était encore plus divisé, et « qui, au bout de plusieurs jours, ne variaient pas entre elles « d'une seule minute. D'après l'ordre de Son Altesse elle-même, « le susdit Filippo, combinant les deux inventions, a exécuté « l'horloge publique de la place du palais qu'habitent Leurs Al-« tesses. Enfin, dans les derniers mois (*dei mesi addietro*) fut en-« voyée de Paris, à Votre Altesse, l'explication du dessin (*la scrit-« tura in dichiarazione del disegno*) d'une horloge semblable du « susdit signor Huyghens. Quant aux détails, je n'insisterai pas

« plus longtemps auprès de Votre Altesse, parce que, ou elle a « tout vu, ou a été présente à tout. »

Ainsi donc il résulte de la lettre de Viviani que, vers 1655, c'est-à-dire environ trois ans avant la première publication d'Huyghens, Generini d'abord, puis Treffler, avaient exécuté à Florence des horloges ayant le pendule pour régulateur, et que ces diverses horloges avaient leur point de départ dans la conception antérieure de Galilée; qu'enfin le cardinal de Médicis, auquel Viviani adressait sa lettre, avait tout vu, tout connu, avait été présent à tout, avant la réception récente d'un dessin et d'une description de l'horloge d'Huyghens.

Si l'on cherche le pourquoi de cette lettre, on est tout naturellement conduit à penser qu'elle doit son origine à l'envoi du dessin et de la description de l'horloge d'Huyghens; que son but est, pour le moins, de remettre, sous les yeux et dans la pensée du cardinal, les faits que la lettre raconte, et auxquels il a lui-même pris part.

Quatre mois après la date de cette lettre, c'est-à-dire le 19 décembre 1659, Ismael Bouillaud, astronome français, écrivait, de Paris, au cardinal de Médicis :

« Ad christianum Hugenium Zulichemium utriusque horologii « pendulo directi, quas a celsitudine tua accepi, picturas misi ; « et, si mihi vacasset, historiam inventi a Galilæo penduli et « adnotata primum ab ipso æqualitatis motu, transcriptam ad- « junxissem[1]. »

Ce paragraphe, qui nous était connu avant la publication de l'opuscule de M. Alberi nous semblait assez compromettant pour Huyghens qui, postérieurement, n'a cessé, soit de nier l'œuvre de Galilée, soit tout au moins d'en contester le mérite.

M. Alberi pense, au contraire, que ce paragraphe est la preuve qu'Huyghens n'a connu ni la lettre de Viviani au cardinal, ni le dessin qui accompagnait la description de l'horloge de Galilée. Il se fonde sur ce que ce n'est pas *un dessin*, mais *deux dessins* que Bouillaud a transmis à Huyghens. Si ces deux dessins devaient différer entre eux, l'un d'eux ne devait pas être par conséquent le dessin vrai et unique de Galilée, et rien n'indique ce que pouvait être l'autre; d'où, suivant l'induction la plus naturelle, ces

1. Fabroni, *Lettere d'Uomini illustri*, tome I, p. 199.

deux dessins devaient être ceux des horloges que construisait *alors* Treffler, dans lesquelles pouvaient subsister quelques traces des idées de Galilée, mais trop dénuées de nouveauté pour faire autorité dans l'esprit d'Huyghens, dont l'invention était déjà propagée dans toute l'Europe, ainsi qu'il résulterait d'un autre passage de la même lettre de Bouillaud [1].

M. Alberi ajoute que l'indifférence de Bouillaud à communiquer le texte (*scrittura*) à Huyghens exclut absolument l'idée qu'il s'agit de la lettre de Viviani contenant la description dans laquelle consistait toute l'importance de la chose.

Notre opinion diffère, sur plusieurs points, de celle de M. Alberi.

D'abord nous ne voyons pas pourquoi l'un des deux dessins n'aurait pas été celui de Galilée et pourquoi ils auraient été ceux des horloges que construisait *alors* Treffler. La lettre de Viviani est très-explicite sur les dates : elle fait remonter à quatre ans en deçà, c'est-à-dire à 1655, trois ans avant Huyghens, l'exécution de la *machinetta* par Treffler, l'horloge de Generini, les horloges de chambre de Treffler, toutes sur le modèle de Galilée, puis la combinaison des deux inventions par Treffler, etc., etc. Rien dans cette lettre n'implique l'exécution contemporaine des pièces dont parle Viviani; et, si l'on prend son texte à la lettre, toutes remonteraient à 1655.

On ne comprend pas, d'ailleurs, comment le cardinal aurait envoyé à Huyghens, par l'intermédiaire de Bouillaud, des dessins d'horloges à pendule dans lesquels ne se serait pas trouvé celui de l'horloge de Galilée, dont Viviani lui avait si récemment adressé dessin et description; lorsque surtout le texte de la lettre d'envoi contenait, dit Bouillaud, l'*Histoire du pendule inventé par Galilée et de la constatation de l'égalité de ses oscillations,* histoire qu'il eût transcrite pour Huyghens, *si le temps ne lui eût manqué.*

Or, si l'on se reporte à la lettre de Viviani, on remarquera que la plus grande partie de son texte contient justement l'*histoire* détaillée du pendule depuis la première observation de Galilée, à Pise, en 1583, et que cette histoire occupe douze pages sur seize dans le tome XIV de l'édition que M. Alberi a dirigée, et

1. « Horologium quod a Sereniss. Poloniæ Rege, Sereniss. Magnus Dux « accepit, ex Hollandia in Sarmatiam importatum esse certissimum est, nec « dubium quin iusta hugenianum modum constructum sit. »

l'on comprendra que Bouillaud, dans la concision latine de sa lettre au cardinal, ait donné le titre d'*Histoire du pendule* à la lettre tout entière, et que, vu sa longueur, il ait hésité à la transcrire pour Huyghens, auquel d'ailleurs elle aurait été peu agréable.

La vraisemblance est donc pour la transmission de la lettre de Viviani à Bouillaud, et pour que l'un des dessins qui l'accompagnaient fût celui décrit dans cette lettre.

Huyghens n'a reçu, il est vrai, que les dessins; mais si l'un d'eux était celui de Galilée, la description devenait tout à fait inutile pour un homme de la sagacité d'Huyghens.

Si, d'un autre côté, on considère que la lettre de Viviani contenait la copie de celle de Galilée à Realio, du 6 juin 1637, donnant la description de ce que Galilée appelait son *Misurator del tempo*, exécuté en 1655 par Treffler, on trouvera très-probable que le second dessin se rapportait à cette description, et qu'Huyghens a été mis en possession de la double conception de Galilée par l'envoi que Bouillaud lui a fait de ces deux dessins; à moins que, contre toute vraisemblance, on ne suppose que le temps, qui manquait à Bouillaud pour transcrire la description, lui ait manqué au point d'omettre le nom de Galilée sur ces mêmes dessins.

Nulle part, le texte de Viviani ne fait mention d'un dessin, et cependant il est bien certain aujourd'hui qu'un dessin, celui de l'horloge de Galilée l'accompagnait. Indépendamment de la lettre de Galilée à Realio qu'il transcrit, Viviani ajoute dans son texte sa description personnelle de la *Machinetta*, exécutée par Treffler, et qui, bien moins précise que celle de Galilée, semble impliquer la présence d'un dessin, d'où résulte la probabilité que les deux dessins représentaient, l'un l'horloge de Galilée, l'autre son *Misurator del tempo*, exécuté par Treffler.

Récapitulons les faits.

En 1659, quelques mois avant la lettre de Viviani, le cardinal de Médicis reçoit la description de l'horloge d'Huyghens.

Le 20 août de la même année 1659, Viviani écrit sa lettre au cardinal sur la demande de celui-ci, y décrit l'horloge imaginée par Galilée, exécutée par son fils et donne deux descriptions (celle de Galilée et la sienne) de la *Machinetta*, exécutée par

Treffler, et que Galilée appelait son *Misurator del tempo;* puis cite enfin les horloges exécutées en 1655, par Generini et Treffler. Les trois quarts de cette lettre sont consacrés à l'*histoire du pendule*.

Quatre mois après, presque jour pour jour, le 19 décembre 1659, Bouillaud écrit au cardinal de Médicis qu'il a envoyé à Huyghens les deux dessins d'horloges *réglées par le pendule*, qu'il avait reçus de ce même cardinal, et s'excuse de n'avoir pas envoyé, en même temps, l'*histoire du pendule* à Huyghens parce que le temps lui a manqué pour la transcrire.

Cette succession de faits a lieu dans une période d'environ six mois, et comprend la durée d'un voyage de Florence à Paris au dix-septième siècle. Tous ces faits ont entre eux une connexion intime, dérivent logiquement, fatalement, les uns des autres, et mènent insensiblement à cette conclusion que Huyghens a connu *alors*, au moins par un dessin, l'horloge inventée par Galilée en 1641, et exécutée par son fils en 1649.

Pour admettre l'hypothèse de M. Alberi, il faut supposer, contre toute vraisemblance, que, dans les quatre mois écoulés entre la lettre de Viviani et celle de Bouillaud, des motifs que rien ne révèle, auraient engagé le cardinal à envoyer à Huyghens les dessins de *deux horloges réglées par le pendule,* dont celle de Galilée n'aurait pas fait partie, en même temps qu'une *histoire du pendule*, qui ne serait pas celle de Viviani auquel il avait demandé cette *histoire*, après avoir reçu la description de l'horloge d'Huyghens.

M. Alberi trouve ces motifs dans la position particulière de Viviani à l'égard d'Huyghens, position qui lui aurait fait supprimer l'envoi à Huyghens des détails fournis par lui au cardinal. Viviani jouissait d'une pension que lui faisait Louis XIV, et était associé étranger de l'Académie des sciences à la tête de laquelle se trouvait Huyghens. Ces considérations expliqueraient (sans l'excuser toutefois), suivant M. Alberi, la réticence de Viviani.

Nous croyons, pour notre compte, que nouveau saint Pierre, Viviani n'a point renié son maître vénéré, celui à la glorification duquel il a employé la pension royale, en faisant construire la maison où sculpture, inscriptions, tout parle de Galilée. Les dates ont ici une autorité absolue.

Quand Viviani écrivait sa lettre au cardinal, le 20 août 1659, l'Académie des sciences n'existait pas encore. Elle ne fut fondée qu'en

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE
DE E. LACROIX
15, Quai Malaquais, 15.

MANUEL
DU GRÉEMENT
ET
DE LA MANOEUVRE

POUR SERVIR AU BREVET

DE CAPITAINE AU LONG COURS ET DE MAITRE AU CABOTAGE

Suivi de Notes utiles à tous les Marins

PAR E. BRÉART
Lieutenant de Vaisseau
Commandant la corvette d'instruction des Élèves de l'Ecole navale impériale

Ouvrage publié avec l'autorisation de Son Excellence le Ministre de la Marine

1 volume grand in-8 de 336 pages, et Atlas de 16 pl. grand in-8 doubles. 10 fr.

AVERTISSEMENT DE L'AUTEUR

Depuis quelques années, et principalement depuis l'application de la vapeur à nos vaisseaux, des modifications si nombreuses ont été apportées dans leur gréement, qu'il nous a semblé utile et nécessaire de les faire connaître aux jeunes gens qui se préparent à subir les examens de capitaine au long cours et de maître au cabotage.

Ce livre est en quelque sorte le résumé des leçons que nous avons professées à l'École navale; mais comme il s'adresse à un public marin, nous nous sommes dispensé de débuter par les préliminaires du métier, et nous

avons évité d'entrer dans des détails trop minutieux qui eussent fatigué l'esprit du lecteur et grossi inutilement le volume.

Nous n'avons pas eu la prétention de faire un Traité, mais seulement un Manuel; et la forme par questions et réponses a paru la plus convenable à un ouvrage de cette nature.

Ce livre est divisé en trois sections : la première est relative au bâtiment dans le port. Le navire à l'état de carcasse flottante est mâté au moyen des divers procédés connus, puis gréé d'après les dispositions réglementaires en usage dans nos arsenaux. La deuxième section traite du bâtiment en rade, de la manœuvre des canots et de celle des ancres. La troisième section appartient au bâtiment à la mer, elle comprend les appareillages, évolutions diverses, manœuvres de mauvais temps, avaries, échouages, mouillages, etc... ; elle embrasse par conséquent dans son ensemble toutes les positions du navire, par beau ou mauvais temps.

La forme de rédaction adoptée pour ce Manuel nous a mis dans l'obligation de faire figurer sous forme de notes, à la fin du volume, les développements nécessaires à certaines questions.

Notre désir , en publiant cet ouvrage, est d'être utile aux jeunes marins; si nous parvenons à atteindre ce but, nous aurons dû une part de notre succès aux officiers qui nous ont précédé dans l'enseignement de la manœuvre, à l'École navale.

Paris. — Imprimerie de W. REMQUET, GOUPY et Cie, rue Garancière, 5.

1666, et Huyghens ne vint en France que cette même année. La pension de Viviani a pour date l'année 1665, et c'est seulement en 1699 qu'il fut nommé associé étranger de l'Académie des sciences [1]. Il n'existait donc, en 1659, pour Viviani, aucun motif d'empêcher que sa lettre au cardinal parvînt sous les yeux d'Huyghens.

M. Alberi donne encore pour base à son hypothèse les réclamations postérieures d'Huyghens, réclamations qu'il n'eût pas faites s'il eût connu la lettre de Viviani.

L'argument ne nous paraît pas concluant.

Nous admettons que Huyghens n'a pas reçu le texte de Viviani, puisque Bouillaud annonce qu'il n'a pas eu le temps de le transcrire; mais les dessins, il les a reçus. Ces dessins étaient ceux d'*horloges réglées par le pendule;* et, eussent-ils représenté les horloges de Generini ou de Treffler, ils représentaient une application du pendule antérieure à celle d'Huyghens puisqu'elle remontait, au moins pour Generini, à 1655, c'est-à-dire à trois ans avant Huyghens, et que, quelque date qu'on veuille donner aux horloges de Treffler, elles remonteraient toujours au delà de 1658. Quoi qu'on fasse, Huyghens, primé par Galilée, par Generini, par Treffler, a dû savoir, par l'envoi de Bouillaud, qu'antérieurement à lui, le pendule avait été appliqué au réglage des horloges; et il répugne au bon sens d'admettre que Bouillaud, en possession de la lettre de Viviani, ait omis, dans son envoi, le dessin de l'application de Galilée, et surtout de le désigner comme tel.

Si Huyghens n'a pas reçu copie de la lettre de Viviani, celle-ci a été communiquée à Élias Deodatus, par Bouillaud qui l'annonce au cardinal dans le paragraphe qui suit immédiatement celui que nous avons cité plus haut, et qui l'en remercie très-vivement au nom de Deodatus, *l'alter ego* de Galilée dans les négociations entamées avec les états de Hollande dont Huyghens lui-même était l'un des agents.

Cet ami dévoué de Galilée n'a pas dû garder le silence sur une pareille question. De là, probablement, les premières notions en France, de la priorité de Galilée sur Huyghens; notions qui durent rester, pour ainsi dire, d'abord à l'état latent et s'effacer

1. Hist. de l'Académie des sciences, *Éloge de Viviani*, année 1703, p. 137, et suiv.

peu à peu de la mémoire des initiés : car Huyghens se taisait, et l'attention n'était pas éveillée comme elle l'a été plus tard sur cette question.

Cependant on voit Huyghens s'en préoccuper en 1662. Le 16 janvier de cette année, Nicolas Heinsius écrivait à Carlo Dati, dans une lettre conservée par Targioni :

« Convenit me diebus proximis elapsis Christianus Hugenius « et narravit accepisse se Lutetia litteras quæ inventum horo- « logii a se editi Galilæo vestro vindicarent, sancte testatus ejus « rei cum ignarissimis ignarum se fuisse. Quod si ita se res « habet ea qua par est ingenuitate puto agnoscet et profitebitur « hujus inventi gloriam primo Galilæo deberi. Tu, quid ejus rei « sit me velim doceas. Ille asseverat nonnulla se super addidisse « priori invento per quæ motus horologii emendetur et longe « certior reddatur. »

On ne connaît pas la réponse qu'a pu faire le professeur de belles lettres grecques et latines de Florence au poëte latin de Leyde. Mais il nous semble que, si Huyghens voulait savoir la vérité vraie, il pouvait mieux s'adresser.

Quoi qu'il en soit, il garde le silence jusqu'en 1673. Depuis sept ans les *Saggi* de l'Académie del Cimento étaient publiés, et avaient fait connaître au monde savant les droits de Galilée, par le paragraphe cité plus haut, et il s'était tu.

Mais en 1673, l'Académie del Cimento était dissoute, ses membres étaient ou morts ou dispersés. Huyghens, comblé des faveurs de Louis XIV, était tout-puissant à l'Académie des sciences. Il publie son grand ouvrage *De horologio oscillatorio* qu'il dédie à Louis XIV et dans la préface duquel il émet, pour la première fois, des prétentions publiques à la priorité de l'application du pendule aux horloges, ou plutôt cherche à s'inscrire en faux contre les assertions des amis de Galilée. On y lit :

« Cum nec dicto, nec scripto de horologiis hujus modi mentio « facta esset (loquor autem de penduli simplicis usu ad horo- « logio translato, nam de cycloïdis additione nemo credo con- « troversiam movebit) constructionem eorum propria medita- « tione inveni et perficiendam curavi. Qui vero Galilæo primas « hic deferre conantur, si tentasse eum non perfecisse inventum « dicant, illius magis, quam meæ laudi detrahere videntur, « quippe qui rem eandem meliore quam ille eventu investiga-

« verim. Cum autem, vel ab ipso Galilæo, vel a filio ejus quod « nuper voluit vir quidem eruditus ad exitum deductum fuisse « contendunt, horologiaque ejus modi reipsa exhibita nescio « quomodo sibi creditum iri sperent, cum vix vero simile sit « adeo utile inventum ignoratum manere potuisse annis totis « octo donec a me ederetur...

« Itaque probandum id foret neque eo magis ad me tamen « quodquam pertineret, nisi quoque una ostendatur, id quod « omnes latebat mihi soli innotuisse. »

Huyghens ne fait ici qu'une allusion très-indirecte au paragraphe des *Saggi* qui donne la priorité à Galilée ; il ne nomme ni l'ouvrage ni son rédacteur Magalotti, qu'il ne désigne que par les mots *vir quidam eruditus*. Cependant les verbes mis au pluriel impliquent l'idée d'un certain nombre de personnes qu'il taxerait d'imposture.

Mais il est tout à fait explicite dans la lettre qu'il écrit au cardinal de Médicis, sous la date du 23 mai, et qui a été conservée par Fabroni. T. I., p. 222.

« ... Hunc (librum) non tantum probari optem celsitudini tuæ, « sed et patrocinio ipsius maxime commendatum cupiam, si quos « forte illic terrarum iniquiores lectores experietur. Scio enim « non deesse, qui ipsum hoc quod trado horologii oscillatorii « inventum nobis adscribi nolint. Inter quos experimentorum « academiæ florentinæ scriptor ita ad Galilæum filiumque ipsius « illud refert, nostrosque conatus dissimulat, et non obscurum « plagii crimen mihi obiecisse videatur. Optassem equidem « celsitudinem tuam pro affectu illo, quo pridem nos nostraque « prosequi dignata est intercessisse ut non illud fieret, cum citra « bonam fidem a me non abesse, inventum horologii istius typis « descriptum ad celsitudinem tuam me misisse constaret, prius-« quam ulla tentaminis Galilæi vulgata esset. »

Ces deux pièces, tout à fait contemporaines, ont des allures bien différentes.

Dans la première, où Huyghens ne nomme personne, il nie presque formellement les faits ; il insiste sur l'invraisemblance qu'une découverte aussi utile n'ait point été publiée à l'époque où l'on prétend qu'elle aurait été faite.

Dans sa lettre au cardinal, il accepte une *tentative* de Galilée, et se plaint surtout qu'en ne mentionnant pas qu'avant la publi-

cation des *Saggi* il avait adressé au cardinal une description de son horloge, on ait fait peser sur lui l'accusation implicite de plagiat.

On trouve également dans Fabroni, t. I, p. 224, le fragment suivant de la réponse du cardinal :

« Per quello che risguarda all' invenzione del pendolo, con « asserzione dettata da amico sincerissimo, costantemente le « affermo di credere, mosso da un forte verisimile, che a notizia « di V. S. non sia per alcun tempo venuto il concetto che sor- « vene ancora al nostro Galileo, di adattare il pendolo all' *ori-* « uolo, poichè cio era a pochissimi noto, e l' istesso Galileo non « aveva ridotto all' atto pratico cosa veruna di perfetto a tal « conto... e mi rendo certo che quando V. S. avesse avuto alcuna « notizia di questa cosa *non avrebbe taciuto di saperla.* »

Nous ne connaissons aucun document émané d'Huyghens *qui* réponde à la confiance que lui témoigne ici le cardinal. A l'assertion des *Saggi* se joint la confirmation du prélat. Huyghens sait maintenant, à n'en pas douter, qu'il est primé par Galilée, et *il s'est tu de le savoir*, ainsi que le prouvent les nombreux documents qui nous restent à citer.

Le 24 juillet 1673, Viviani écrivait à Magalotti (*Magal.*, *lett. famil.* Fir., 1769, p. 44) :

« E un mese in circa ch'io vidi in fronte del libro *De motu pen-* « *dulorum* dell' acutissimo matematico Sig. Ugenio quanto s'è « compiaciuta V. S. d' inviar noi trascritto... E molto prima « aveva inteso da V. S. medesima quanto quegli malagevolmente « soffrisse la giusta pretensione che noi qua abbiamo a favore « del gran Galileo, nostro primo, in tempo, osservatore ed ap- « plicatore del pendolo all' oriuolo e del signor Vincenzo suo « figliuolo, primo esecutore dei concetti del padre. Ma perchè « di gia V. S. ha renduti publici colle stampe questi fatti[1] non « istimo, per adesso necessario far di vantaggio. Non intendo « gia come il sig. Ugenio si mostri tanto appassionato e così « geloso del primato in quello che da chiunque è capace della « sublimita della sua inventiva, sara sempre e facilmente cre- « duto, quegli ancora possa benissimo aver inventato, doppo, da « se stesso, senza alcun precedente motivo o notizia questa tale

1. Allusion à la publication des *Saggi* par Magalotti.

« applicazione del pendolo : nel qual caso e certissimo quegli « si merita l' istessa lode, come se niun altro mai vi avesse pen- « sato prima ; ed io medesimo nel vedere ora questa sua opera « maravigliosa tengo cio per indubitato. »

Cette lettre explique pourquoi ni Viviani, ni Magalotti, ni aucun des survivants de l'Académie dispersée del Cimento n'a relevé le gant si audacieusement jeté par Huyghens. *Vous avez publié ces faits*, dit Viviani à Magalotti ; *je n'estime pas, quant à présent, nécessaire d'en faire davantage*. C'est qu'en effet il n'était pas supposable, pour ces cœurs loyaux, qu'on pût soupçonner leur véracité; d'autant plus, dirons-nous, qu'il ne s'agissait nullement de leur personnalité, et que ce qu'ils revendiquaient, ils le revendiquaient pour un autre. Ils avaient compté sans la vanité d'Huyghens.

Fabroni nous a conservé une lettre, en français, d'Huyghens à Bouillaud; la date manque; mais quelques expressions semblent indiquer qu'elle est postérieure à la lettre du cardinal à Huyghens :

« Je vous remercie beaucoup de l'extrait de la lettre de M. le « prince Léopold, et plus encore de ce qu'il vous a plu lui ré- « pondre pour moi. Je me suis déjà informé de plusieurs per- « sonnes qui en devraient avoir eu connaissance : Si Galilée a « jamais proposé une semblable invention d'horloge à nos états « dont personne ne sait la moindre chose, mais bien de son « invention des longitudes, par le moyen des planètes Médicées, « de laquelle il fut traité en l'an 1336. *Il faut bien croire pourtant,* « *puisqu'un tel prince l'assure, que Galilée ait eu avant moi cette* « *pensée*, et pour la subtilité de l'invention c'est peu de chose, au- « près de ce que ce grand homme, en d'autres matières, a fait « paraître. M. de Roberval, comme vous savez, a encore eu ce « même dessin, dont M. Chapelain m'a envoyé la description, « en laquelle il n'y avait pourtant rien pour faire continuer le « mouvement du pendule par la force de l'horloge, ce qui est le « principe dans mon invention. De même M. Hévélius m'a promis « de produire quelque jour ce qu'il a machiné pour cette fin. Et « M. Wallis m'a aussi écrit qu'en Angleterre il y en avait qui « avaient trouvé le moyen de faire compter les vibrations du « pendule par quelque instrument. De sorte qu'il me semble « que la pensée en a été assez commune. Mais on ne peut nier

« que mon modèle n'ait bien succédé le premier. Car enfin « si celui de Galilée n'avait point eu d'inconvénient, il n'est « aucunement croyable qu'il n'aurait pas mis en effet une « chose si utile en beaucoup de choses, ni après lui le sérénis- « sime prince Léopold, lorsqu'il trouva ce modèle. Si j'avais « l'honneur d'être plus connu de S. A., et assez de hardiesse, « je la requérerais pour en avoir une figure, pour voir en quoi « elle diffère de la mienne. Si ce n'est qu'aux roues, c'est peu « de chose; mais, si le pendule est attaché autrement que je « n'ai fait, comme si peut-être il tourne sur un essieu, le succès « n'en saurait être si bon. Mais enfin que faut-il faire pour ôter « à ce prince l'opinion qu'il semble avoir conçue de moi, comme « si je m'attribuais l'invention d'autrui, et que je ressemblasse à « ce Simon Marius[1]? Certes, je me croirais indigne de vivre. « Mais puisque pourtant la négative est difficile à prouver, je ne « vois pas quelle apologie je pourrais faire à S. A. S., en l'assu- « rant avec toute sincérité que ni moi, ni personne en ce pays, « à ce que j'ai pu apprendre, n'a ouï parler de cette invention, « devant que je la publiasse. Je vous prie de faire en sorte que « cela lui soit confirmé de ma part, sans que j'aie besoin de « m'adresser à une personne si éminente pour lui contester son « opinion. »

Nous comprenons très-bien le sentiment auquel M. Alberi a cédé lorsqu'il a pris la défense d'Huyghens. Il est difficile, en effet, de ne pas croire à des protestations aussi énergiques. Mais contre quoi proteste-t-il surtout? Contre le soupcon d'avoir connu l'invention de Galilée avant la sienne propre, soupçon dont on ne voit aucune trace dans les *Saggi*, où l'on se borne à dire que Galilée *avant tout autre* (*prima d'ogni altro*) avait imaginé d'appliquer le pendule à l'horloge, assertion que, cependant, dans sa publication imprimée, Huyghens traite d'imposture invraisemblable, mais qu'il ne contredit point dans sa correspondance, se contentant d'amoindrir, autant qu'il croit pouvoir le faire, le mérite de l'œuvre qu'il sait être antérieure à la sienne. Dans sa dernière lettre à Bouillaud, les noms de Roberval, d'Hévélius, de Wallis, n'ont pas d'autre but.

1. Allusion aux prétentions de Simon Marius sur la découverte des satellites de Jupiter.

Quant à son ignorance actuelle des conditions de l'horloge de Galilée, résultant de sa demande d'une figure pour voir en quoi elle diffère de la sienne, nous nous permettrons d'en douter, en présence du fait formel des dessins que, quatorze ans auparavant, Bouillaud lui avait envoyés. Mais ce dont nous ne doutons pas du tout, c'est qu'au moment où Huyghens envoyait la préface de son édition de 1773, lorsqu'il accusait publiquement d'imposture, sans les nommer toutefois, les membres de l'Académie del Cimento, dans sa correspondance, qu'il croyait devoir rester secrète, il reconnaissait la vérité de leur assertion, et ne se plaignait que de n'avoir pas été nommé à côté de Galilée.

Ce double jeu ne nous paraît pas marqué au coin de la bonne foi. Il manque essentiellement de loyauté.

Mettons de côté, pour un moment, tout ce qui n'a pas date certaine, et, comme le voulait Arago, n'admettons au débat que les publications imprimées. En 1666, l'Académie del Cimento publie ses *Saggi*. Dès les premières pages, elle annonce que, pour donner plus de précision à ses expériences, elle s'est *décidée à appliquer le pendule à l'horloge, à l'instar de ce que, avant tout autre, avait imaginé Galilée, et qu'en* 1649 *avait mis en pratique son fils Vincent Galilée*. Quel est l'écrivain responsable de cette assertion? Le comte Magalotti, secrétaire de l'Académie, conseiller d'État du grand-duc, chargé, à de nombreuses reprises, par ce souverain, de missions diplomatiques importantes. C'est au nom et avec l'assentiment de ses confrères qu'il raconte purement et simplement un fait qui est si bien à la connaissance de tous, non-seulement dans l'Académie, mais dans la ville de Florence[1], que les dessins de l'appareil n'en montrent que l'extérieur.

L'importance et le mérite de cette publication n'ont jamais été contestés. Le monde savant a constamment rendu justice à l'exactitude des résultats obtenus par des expérimentateurs qui ne négligeaient aucune précaution, si minutieuse qu'elle fût, dont la devise bien justifiée était : *Provando e riprovando*. Pour un esprit impartial, affranchi de toute idée de coterie, une

1. Voyez plus haut la lettre de Viviani au cardinal de Médicis, parlant de l'horloge publique de la place du palais habité par le grand-duc.

assertion de leur part, dénuée de tout intérêt personnel, deviendra une vérité incontestable.

Aussi Huyghens se garde-t-il bien de réclamer à l'apparition du volume. Il attend sept ans après la dispersion des membres de l'Académie; et, comme il est encore possible qu'il reçoive, de quelques-uns, un de ces démentis dont on ne se relève pas, il ne nomme personne; et tout en parlant au pluriel, il ne désigne les hommes qu'il traite d'imposteurs que par ces mots : *Vir quidam eruditus*, rendant, par là, sinon impossible, du moins très-difficile, et surtout très-délicate, toute réponse de la part de ceux *qu'il* attaquait.

On a vu plus haut, dans sa lettre à Magalotti, avec quelle dignité Viviani estime que la publication des *Saggi* est suffisante pour faire triompher la vérité.

Il se trompait.

La préface d'Huyghens, restée sans réponse, devint une vérité parmi les corps savants. Si, de temps en temps, la vérité vraie tentait de se faire jour, un champion d'Huyghens la forçait à battre en retraite.

Nous ne voulons pas fatiguer le lecteur par la répétition *in extenso* des longues dissertations au moyen desquelles Huyghens, jusqu'à nos jours, a été maintenu sur le pavois. Nous nous bornerons à nommer les champions venus à notre connaissance, en signalant, pour quelques-uns, leurs principaux coups de lance.

De la Hire ouvre la marche par un *Mémoire*, lu le 23 juin 1717 à l'Académie des sciences[1], *sur les dates du micromètre, des horloges à pendule, et des lunettes d'approche.*

Dans ses Éphémérides, publiées en 1662, le marquis de Malvaria rapporte qu'il se servait pour ses observations d'une horloge à pendule. De la Hire s'exprime ainsi à ce sujet.

« Pour ce qui regarde l'horloge à pendule, si le marquis de
« Malvaria a dit en 1662 qu'il avait une horloge à pendule, et
« qu'il s'en servait comme il le marque, c'est une date qu'on
« peut rapporter à ce temps, *mais non pas* ce qu'il ajoute, qu'elle
« avait été trouvée à Florence quelques années auparavant, non

1. *Hist. de l'Acad. des sciences*, 1717, p. 78.

« plus que ce qui est imprimé en 1666 dans les *Saggi* de Florence, où il est dit que Galilée avait eu la pensée d'appliquer « le pendule à une horloge; mais que cela ne fut exécuté qu'en « 1649 par son fils, sans marquer comment cette application « avait été faite. Mais si cette horloge à pendule était en usage « dès l'année 1649, il n'y a pas d'apparence de croire que « M. Huyghens, qui était en relation avec tous les savants de « l'Europe, et *qui était fort connu à Florence*, eût eu la hardiesse « de faire imprimer la construction de cette même horloge à « pendule chez Adrien Vlacq, à la Haye, en 1658, comme une « chose nouvelle, neuf ans après que cela avait été exécuté à « Florence, sans craindre de passer pour plagiaire et de produire « comme une nouveauté ce qui était déjà fort connu, car *on ne « peut faire cette application du pendule à l'horloge que d'une seule « manière*, qui est de le substituer au balancier des horloges « ordinaires pour rectifier le mouvement de ce balancier, qui « est toujours fort inégal.

A l'époque où écrivait de la Hire, une seule publication, à notre connaissance du moins, supposait la possibilité qu'Huyghens eût connu, avant 1658, l'invention de Galilée. C'est un mémoire de Becker, présenté à la société royale de Londres, en 1680, et publié en 1738, à la fin de sa *Physica subterranea*, où l'on trouve le passage suivant :

« Inventionem et introductionem illorum Hugenius a Zulichem « Hollandius sibi vindicat... Sed contradicit ipsi comes Magalotti Magni Hetruriæ Ducis, ad aulam Cæsaris residens « quiddam mihi hujus horologii historiam oretenus recensuit; « quam triennio circiter elapso mihi, Augustæ Vindelicorum « defuncti Magni ducis Hetruriæ, hujus patris horologiarius nomine Treffler similem narravit, et confessus est se Magni Ducis jussu et ejus mathematici Galilæi instincta primum Florentiæ horologium pendulum confecisse, *cujus exemplar in Hollandiam venit*. »

Nous ne savons si de la Hire a voulu faire allusion à ce passage, auquel la lettre de Viviani à Magalotti donne un démenti complet quoique implicite. Mais nous ferons remarquer que rien, dans le passage des *Saggi* que cite l'académicien français, il n'y a pas un seul mot qui justifie une attaque aussi passionnée, aussi mal-

veillante que la sienne. On se borne à avancer le fait qu'*avant tout autre*, Galilée a imaginé, et que son fils a réalisé, en 1649, l'application du pendule aux horloges, et qu'on a jugé convenable de reproduire cette même application pour les expériences qu'on va décrire. Pas un mot n'implique la vulgarisation antérieure de l'invention, ou de sa réalisation matérielle; rien par conséquent qui puisse atteindre Huyghens dans son honneur.

Au lieu de peser les expressions des *Saggi*, de la Hire s'en rapporte purement et simplement à la préface *ab irato* d'Huyghens qu'il se borne à reproduire, sans remarquer que s'il n'était pas vraisemblable qu'Huyghens, *fort connu à Florence*, ait eu la hardiesse de donner comme nouvelle ce qui aurait été déjà fort connu, il était encore moins vraisemblable qu'une réunion d'hommes de la valeur de ceux qui composaient l'Académie del Cimento ait eu la hardiesse d'imprimer, sans qu'aucun de ses membres y eût un intérêt personnel, ce qu'elle aurait su être un mensonge.

Remarquons, en passant, qu'en insistant, comme il le fait, sur les relations d'Huyghens avec tous les savants de l'Europe, sur ce qu'il était fort connu à Florence, de la Hire, sans s'en apercevoir, expose singulièrement la réputation de son client puisqu'il place nettement la question entre deux invraisemblances : celle de l'improbité d'Huyghens et celle de l'Académie del Cimento tout entière.

Nous pouvons voir maintenant combien le cardinal de Médicis se trompait lorsqu'il écrivait à Huyghens qu'il était convaincu qu'*il n'aurait pas tu la vérité s'il l'eût connue*.

Depuis 1673 au moins, Huyghens connaissait la vérité : il était en relation avec de la Hire dont le mémoire débute par déclarer qu'il a toujours entretenu des liaisons avec ceux qui avaient eu le plus de part à ces questions, et il *s'est tu* avec de la Hire comme avec tous ceux qui ne savaient pas la vérité.

Quant à l'assertion de de la Hire, qu'on ne peut appliquer le pendule aux horloges que d'une seule manière, qui est de le substituer (comme l'a fait Huyghens) au balancier, nos lecteurs savent maintenant à quoi s'en tenir à ce sujet.

Après de la Hire, vient Montucla qui, dans son *Histoire des mathématiques*, dont la première édition est de 1786, rejette toutes

les prétentions émises en faveur de Galilée par ce seul motif qu'il n'est pas vraisemblable qu'une invention si utile, si facile à mettre en pratique, fût restée ensevelie, près de vingt ans, dans un pareil oubli.

Citons, à cette occasion, Ferdinand Berthoud qui, bien que du même avis sur la priorité d'Huyghens, ne voit pas qu'il y ait eu *invention* dans l'application du pendule aux horloges, parce qu'il n'y avait qu'une *substitution* du pendule au balancier.

Plus loin, en reproduisant l'opinion de Bailly (*Histoire de l'astronomie moderne*) qui ne cite même pas Galilée, Berthoud conteste également le titre d'*invention* à la découverte du pendule simple. C'est, dit-il, l'observation d'un effet naturel de la pesanteur. En revanche, c'est à l'*échappement* seul qu'il accorde cette qualification. « Il est fort douteux, ajoute-t-il, que cette belle et « ancienne invention ait jamais été l'ouvrage d'un mécanicien « seulement doué de la théorie. »

Nous ne trouvons, dans les auteurs qui, postérieurement, ont touché à l'histoire de l'horlogerie, que la répétition du même argument en faveur d'Huyghens : l'invraisemblance du silence gardé, avant la publication d'Huyghens, sur les travaux de Galilée, de son fils et de l'Académie del Cimento.

Nous retrouvons, avec chagrin, le même argument, mais s'appliquant seulement à la lettre de Viviani à Magalotti, en 1773, dans la biographie de Galilée par Arago.

« Malgré tout le respect que l'on doit à des assertions portant « pour signature le nom de Viviani, aux yeux de tout homme « impartial, ces assertions ne sauraient balancer les titres pu- « blics qu'invoque en sa faveur l'illustre géomètre hollandais. « Comment une invention d'une telle importance était-elle restée « ignorée, etc. »

Un passage de cette même biographie implique qu'elle est postérieure à l'*Astronomie populaire* d'Arago, dans laquelle nous lisons, tome 1er, page 58 :

« Cette lacune [1] peut être remplie d'après les informations « consignées dans un autre écrit de Viviani intitulé : *Histoire de*

1. Il s'agit ici du peu de développement donné, par Viviani, dans sa *Vie de Galilée*, aux premières expériences sur le pendule.

« *l'horloge imaginée par Galilée, et réglée par le pendule, etc.* Cette « histoire, composée à la demande du prince Léopold de Médicis, « est de l'année 1659. La *Vie* avait paru cinq ans auparavant, « en 1654. »

Loin de nous la pensée qu'on puisse voir, dans ce rapprochement, la moindre insinuation contre l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences. Comme nous l'avons dit, les trois quarts de la très-longue lettre de Viviani n'ont trait qu'aux expériences de Galilée sur le pendule simple. Il est possible qu'au moment où il écrivait la biographie de Galilée, Arago avait perdu le souvenir du *titre* de cette lettre qu'il n'avait peut-être pas lue tout entière, rebuté par l'impossibilité de comprendre la description de l'horloge. C'est par centaines de fois qu'Arago avait rencontré les arguments en faveur d'Huyghens; c'est une seule fois qu'il a peut-être vu, assurément très-vaguement, la preuve contraire. Cette vérité, presque latente, ou ne se sera pas fait jour dans son esprit, ou aura disparu sous l'accumulation des souvenirs antérieurs en faveur d'Huyghens.

Terminons en appliquant aux erreurs historiques ce que, dans sa biographie de Watt, Arago lui-même disait des préjugés :

« Lorsque de semblables bévues osent se produire au grand « jour, il ne faut pas dédaigner de les combattre. Ce n'est pas « sans raison qu'on a appelé le public une éponge à préjugés; « car les préjugés sont comme les plantes nuisibles : le plus petit « effort suffit pour les extirper, si on les saisit à leur naissance. « Ils résistent, au contraire, quand on leur a laissé le temps de « croître, de s'étendre, de saisir dans leurs nombreux replis tout « ce qui se trouve à leur portée. »

Paris. — Imprimerie P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.

ÉTUDE

SUR LE

CHAULAGE DES TERRES ARABLES

PAR M. BOUSSINGAULT.

Le *chaulage* dans la grande culture ne paraît pas remonter au delà du seizième siècle. Il en est fait mention dans le *Théâtre de l'agriculture* : « La chaux neuve est de grande efficace pour « telles choses (l'amendement des terres), laquelle meslée avec « quelques terriers, balieures, ou autres fumiers, et jetée au « champ au commencement de l'hyver, l'engraisse très-bien, et « selon son naturel chaud tue les bestioles et les racines des « herbes nuisantes. En quoi la chèreté n'est tant considérable, « quoique la chaux coûte de l'argent, que le profit en revenant « est asseuré, comme ce mesnage s'est dès longtemps pratiqué « aux pays de Gueldres et de Juilliers[1]. » La chaux est déposée sur le sol dans une saison sèche, par tas de 25 à 30 décimètres cubes, distants de 5 à 7 mètres; en raison de la vapeur aqueuse que contient toujours l'atmosphère, elle est transformée en un hydrate pulvérulent, dans lequel il entre : pour 100 de chaux vive, 32 d'eau. L'hydrate est répandu à la pelle à la surface du champ. Lorsque le temps est à la pluie, la chaux est recouverte avec de la terre humide. Elle fuse alors lentement, sans être délayée, comme cela ne manquerait pas d'arriver s'il survenait des averses et qu'elle ne fût pas abritée.

Dans quelques contrées, la chaux éteinte réduite en farine, soit spontanément, soit par une aspersion, est épandue immédiatement, en choisissant pour cette opération un temps calme; ce mode d'application a l'inconvénient d'augmenter les frais de transport, puisque 100 de chaux vive pèsent 132 après l'hydratation. Aussi n'est-ce que pour le chaulage à faible dose, le saupoudrage du sol, que l'on procède ainsi.

1. Olivier de Serres, t. I, p. 127.

La chaux n'est pas toujours répandue directement sur les champs après son extinction. En Flandre, en Belgique, en Normandie, dans l'Anjou, dans la Mayenne, elle est d'abord mélangée avec de la terre végétale, quelquefois même avec du fumier, des gazons, de la boue, des balayures. A cet effet, on la dépose dans des tranchées ouvertes à une extrémité des champs, où on la couvre de terre; ou bien elle est stratifiée avec les matières que l'on doit y mêler. Dans ces conditions, son extinction ou son hydratation a lieu en quelques jours; on mêle alors intimement les matières; opération que l'on renouvelle à des intervalles plus ou moins rapprochés. Ces mélanges, ces *composts*, que l'on dispose ordinairement sur le terrain en prismes triangulaires, ces *tombes* sont employés au chaulage.

Quels que soient les moyens adoptés, la chaux doit toujours être incorporée au sol par des labours peu profonds suivis de hersages. Sur une jachère bien ameublie, un seul labour suffit pour opérer l'incorporation. Il arrive souvent que l'enfouissement de la chaux a lieu lors de l'avant-dernière façon donnée à la terre que l'on veut ensemencer.

La quantité de chaux appliquée à un hectare est des plus variables, suivant la nature du sol, la profondeur, de la couche entamée par le soc de la charrue, le prix de la matière.

En Angleterre, le pays du monde où l'on chaule le plus et surtout où l'on chaule le mieux, l'on donne de 215 à 270 hectolitres de chaux par hectare, quelquefois même jusqu'à 400 hectolitres, et, dans les terrains tourbeux, bien assainis, bien égouttés, cette dose extrême est même dépassée. Dans les sols légers, on ne répand que 130 à 170 hectolitres de chaux, mais ces chaulages sont répétés plus fréquemment [1].

Dans l'ouest de la France, en circonstances ordinaires, la proportion de chaux est de 40 à 100 hectolitres à l'hectare; dans les Landes, dans les bois défrichés, elle s'élève jusqu'à 300 hectolitres [2]. Quand la chaux est employée à saupoudrer des semailles, comme dans quelques partie de la Westphalie, on n'en met pas au delà de 8 à 10 hectolitres [3].

1. John Sainclair.
2. Piérard, *Sur l'emploi de la chaux en agriculture*, p. 17.
3. Schwertz.

D'après des renseignements fort intéressants que je dois à M. Corenwinder, dans les environs de Lille, à Quesnoy-sur-Deule, on chaule tous les sept à huit ans; on opère généralement après la récolte du lin, lorsque l'on prépare la sole destinée à porter les navets; on emploie par hectare de 130 à 160 hectolitres de chaux, l'on fume aussitôt après avec 110 à 160 hectolitres d'engrais flamand.

Un habile cultivateur du département du Nord, M. E. Demesmay, à Templeuve, répartit chaque année 3 à 4 mille hectolitres de chaux sur 15 hectares, formant le huitième de sa culture: c'est 200 à 300 hectolitres de chaux par hectare tous les huit ans; il est vrai que, par l'usage de la fouilleuse, l'épaisseur de la couche arable a été successivement portée de 15 centimètres à 30 et même 35 centimètres d'épaisseur, et comme le fumier n'a pas manqué pendant l'approfondissement d'un sol fortement glaiseux dont l'assainissement n'a pas été négligé, la récolte de blé s'est accrue de moitié, et M. Demesmay a prouvé une fois de plus que le chaulage et le drainage sont les causes les plus influentes de la prospérité agricole d'un domaine.

M. Demesmay mêle souvent la chaux aux boues du lavoir de sa fabrique de sucre de betterave, à de la tannée. L'assolement de Templeuve est de huit ans; la rotation consiste en [1] :

1° Betteraves sur sole chaulée.
2° Blé.
3° Betteraves sur sole fumée.
4° Blé.
5° Betteraves sur sole fumée.
6° Blé.
7° Avoine.
8° Trèfle donnant une seule coupe, suivie d'un chaulage.

Dans le département du Nord, les cultivateurs chaulent aussi avec les écumes de défécation des fabriques de sucre, que par leur nature l'on doit considérer comme un véritable *compost;* on les applique à raison de 50,000 kilogrammes à l'hectare. En juillet on les incorpore à des terres sur lesquelles on vient d'obtenir une culture d'hivernage, mélange de seigle et de vesce fauché en vert comme fourrage, que l'on doit faire suivre d'une

1. Lettre de M. Demesmay à M. Corenwinder.

sole de navets, de colza ou de betteraves. Les écumes de défécation produisent un excellent effet sur les prairies humides, en faisant disparaître les rumex, les mousses, les prêles.

La constitution des écumes, déterminée par M. Corenwinder, explique comment elles agissent aussi favorablement; elles contiennent, à l'état humide, prises après leur extraction des chaudières :

Matières organiques	13.0	16.5
Sucre	3.5	
Phosphate de chaux basique	4.8	30.9
Chaux	26.1	
Eau		52.6
		100.0
Dans 100 parties : Azote		0.6

J'ai examiné des écumes de défécation séchées par une longue exposition à l'air, provenant de la sucrerie dirigée par M. Corenwinder; elles étaient en poudre très-ténue, d'un jaune pâle, sans aucune odeur. On y a trouvé pour 100 :

Chaux non combinée à l'acide carbonique	2.233		
Carbonate de chaux	60.237		
Phosphate de chaux tribasique	4.790	Acide phosphorique dosé	2.21
Nitrates exprimés en nitrate de potasse	0.184	Acide nitrique dosé	0.0984
Silice et sable	1.680		
Matières minérales indéterminées	4.724		
Ammoniaque toute formée	0.014	contenant azote 0.0115	0.8995
Matières organiques azotées	5.553	Id. 0.8880	
Matières organ. non azotées	11.835	estimées par différence.	
Eau	8.750	dosée en desséchant à 110°.	
	100.000		

Au moment de leur production, ces écumes renferment beaucoup plus de chaux non combinée qu'après une longue exposition à l'air; mais, dans l'état où elles ont été employées, on reconnait que, indépendamment de l'élément calcaire qui y domine, elles constituent un engrais précieux. En effet, on y trouve le double de l'azote que l'on rencontre dans le fumier de ferme,

une bien plus forte proportion d'acide phosphorique, et à peu près autant de nitrate que dans les meilleurs terreaux.

De nombreuses opinions ont été émises pour expliquer les effets si favorables du chaulage dans la culture; on peut les résumer ainsi :

La chaux est tout aussi nécessaire aux plantes que les autres alcalis; de plus, elle neutralise les acides développés dans certains sols et particulièrement nuisibles aux racines; elle accélère et active la décomposition des détritus organiques disséminés dans la terre végétale; elle leur fait subir graduellement un genre de modification qui les rend assimilables; sous ce rapport elle communique une certaine énergie au fumier; les détritus disparaissent par le chaulage qui, ainsi qu'on l'a reconnu, ne produit que peu d'effet sur les sols pauvres en humus.

La chaux agit sur les matières issues de l'organisme à la manière de la potasse, de la soude et dans les mêmes conditions, c'est-à-dire avec le concours de l'oxygène et de l'humidité.

Les principes dominants du terreau, tels que les acides bruns, les substances carbonacées analogues à la tourbe, sont azotés, et lorsqu'on les chauffe avec de la chaux éteinte, ils donnent de l'ammoniaque, bien que, dans leur constitution, il n'entre pas toujours des sels ammoniacaux; il est par conséquent permis de présumer que ce qui arrive à une température élevée, dans nos laboratoires, doit aussi arriver dans un champ chaulé à la température ordinaire, quoique beaucoup plus lentement. Enfin il est établi par des faits qu'on observe journellement dans l'industrie du salpêtrier, que les matières animales et végétales, associées à des substances terreuses et alcalines, donnent lieu à une formation de nitrates. Il y a donc tout lieu de croire que le chaulage tend à développer de l'acide nitrique dans la terre arable [1].

La chaux exerce aussi une action sur les éléments minéraux qui sont la base des terres fertiles : elle décompose les sulfates de fer, d'alumine, de magnésie, résultant de l'efflorescence des pyrites que l'on voit assez fréquemment dans les sols et surtout dans les sous-sols argileux. C'est ainsi que dans les terres émer-

1. Johnston. *Lectures on agricultural chemistry*, part. III.

gées par suite du dessèchement du lac de Harlem, certaines zones très-piryteuses n'ont pu être cultivées qu'en faisant intervenir le chaulage [1].

En favorisant la désagrégation, la décomposition des particules de silicates ayant appartenu à des roches cristallines, telles que le granit, le gneiss, le mica-schiste, le syénite, etc., silicates disséminés dans certaines terres végétales et dans lesquels il entre de la potasse, de la soude, le chaulage libère ces alcalis de leurs combinaisons, en même temps qu'il fait naître de la silice soluble, au plus grand profit des plantes. C'est ainsi que la chaux met en liberté la potasse que la plupart des argiles renferment à l'état latent [2], car toute terre fertile contient de la potasse, l'alcali par excellence de la végétation, l'alcali que l'on a d'abord découvert dans les végétaux et que l'on extrait encore des végétaux.

Une fois dans le sol, par l'acide carbonique de l'atmosphère, la chaux est transformée à la longue en un carbonate calcaire d'une extrême ténuité, et par cela même d'autant plus apte à pénétrer dans l'organisme. C'est principalement à cet état de division *chimique* que le carbonate de chaux doit la faculté de transformer promptement les sels fixes d'ammoniaque en carbonate volatil, fournissant à la fois à la plante du carbone, de l'azote assimilable, et de changer en carbonates de potasse les sulfates, les chlorures alcalins sous les influences réunies de la terre végétale et de l'acide carbonique [3].

En ce qui concerne le chaulage au point de vue de son opportunité, il est reconnu par tous les cultivateurs qu'il convient : aux sols dans lesquels l'élément calcaire est insuffisant; aux pâturages envahis par les joncs, les prêles, les mousses; aux terres de qualité inférieure qu'il change en bonnes terres à blé et à légumineuses; aux vieilles prairies retournées par la charrue, où il agit plus utilement que le fumier; aux sols fortement argileux, dont il modifie avantageusement la constitution physique en atténuant leur plasticité. Enfin la chaux, employée à de très-hautes doses, donne les résultats les plus prononcés

1. Renseignement communiqué par M. J. Wilson.
2. Fuchs.
3. Boussingault. *Économie rurale*, t. II, p. 16; 104 et 110. 2e édition.

et les plus favorables sur les landes à bruyères, sur les terrains défrichés, sur les sols tourbeux.

Ainsi, dans l'opinion des agronomes, le chaulage exercerait deux genres d'action, l'un sur la matière minérale, l'autre sur les débris organiques, sur l'humus du sol. C'est ce dernier genre d'action que j'ai étudié, afin de constater si, comme on est disposé à l'admettre en se fondant sur des analogies, la chaux, en faibles proportions, aux températures ordinaires de l'atmosphère, sous les seules influences de l'air et de l'humidité, transforme bien réellement en ammoniaque ou en acide nitrique l'azote des détritus végétaux, l'azote de l'humus, et afin de rechercher, dans le cas où la transformation aurait lieu, quelles en seraient les limites.

Dans les expériences que j'ai entreprises sur ce sujet, j'ai cherché, autant qu'il a été possible, à mettre la terre végétale dans les conditions où elle est dans le chaulage. J'ai tout d'abord été arrêté par une difficulté : dans quelle proportion la chaux vive devait-elle intervenir?

On a vu que les quantités de chaux données au sol est des plus variables, puisqu'un hectare en reçoit de 8 à 10 hectolitres s'il s'agit d'un saupoudrage sur semailles, et de 300 à 400 hectolitres si le chaulage est appliqué sur des landes à bruyères ou sur des terrains tourbeux.

L'hectolitre de chaux vive obtenue d'une pierre de bonne qualité pesant 135 kilogrammes, un hectare chaulé en reçoit donc de 1,080 à 54,000 kilogrammes. Ce sont là des doses extrêmes; dans nos départements de l'Ouest, ces doses varient de 5,400 à 40,500 kilogrammes. En Angleterre, un hectare de terre forte reçoit généralement 40,000 kilogrammes de chaux.

Pour exprimer ces quantités en fractions de la totalité du sol chaulé, il faut connaître la profondeur des labours et le poids du mètre cube de terre ; ces données sont fort incertaines. J'ai pris pour base de cette expression la couche cultivable de la terre du Liebfrauenberg, dont l'épaisseur est de $0^m,33$, et le poids du mètre cube 1,300 kilogrammes[1]. En nombre rond, la terre végétale d'un hectare pèserait par conséquent 4 millions de kilogrammes; on aurait alors pour les doses de chaux mentionnées précédemment :

1. La terre étant séchée à l'air.

Chaux par hectare :		*Dans 1 de terre sèche :*	
En hectolitres.	En poids.	En volume.	En poids.
10	1350[k]	0.00001	0.00034
40	5400	0.00004	0.00135
100	13500	0.00010	0.00337
300	40500	0.00030	0.01013
400	54000	0.00040	0.01350

Après le chaulage, ces quantités seront loin d'être réparties uniformément dans les 4 millions de kilogrammes de terre, par la raison que dans un champ on ne saurait opérer un mélange intime entre deux matières dont les volumes sont aussi disproportionnés. Après un labour pénétrant à 20 centimètres, la zone inférieure de 13 centimètres, que le soc de la charrue n'atteint pas, échappe naturellement à l'action immédiate de la chaux, et un simple saupoudrage fait avec 10 hectolitres et suivi d'un hersage introduira à la surface du terrain une proportion de chaux bien plus élevée que celle qui serait apportée, par un chaulage à plus haute dose, à une tranche de terre que la charrue aurait remuée à 20 ou 25 centimètres de profondeur. Aussi, après l'incorporation de la chaux par le labourage et le hersage, doit-on considérer la couche arable comme formée de zones fortement chaulées, de zones faiblement chaulées, et de zones qui ne le sont pas du tout. Sans doute, avec le temps, par des labours subséquents, par la diffusion, l'élément calcaire pénétrera partout; mais alors, quand la chaux sera uniformément distribuée dans le sol ameubli, une grande partie sera du carbonate, et non plus de la chaux caustique, dont je me propose d'étudier les effets sur les matières organiques appartenant à la terre végétale.

Les considérations dans lesquelles je suis entré m'ont déterminé à porter généralement la proportion de chaux à 1/100e du poids de la terre, dans les expériences que j'ai exécutées. Cette proportion n'a rien d'exagéré, puisqu'elle répond à un chaulage effectué à raison de 300 hectolitres par hectare.

Comme il était indispensable d'opérer sur une matière homogène, la terre végétale, séchée à l'air, a toujours été passée au tamis pour en séparer les cailloux et les pailles; ensuite, par des procédés que je ferai connaître dans un mémoire spécial, on a

déterminé la proportion d'ammoniaque *toute formée* qu'elle renfermait au moment où l'expérience commençait. On a également dosé dans la terre : l'acide nitrique, l'acide phosphorique, l'azote et le carbone appartenant l'un et l'autre soit à des débris de plantes, soit à l'humus.

L'échantillon de terre était chaulé en y mêlant de l'hydrate de chaux dont on connaissait exactement la teneur en alcali caustique [1]. Aussitôt après on ajoutait au mélange de l'eau distillée *exempte d'ammoniaque*, de manière à lui communiquer une humectation convenable, celle que, dans la pratique, on estime être la plus favorable à la végétation et qui est bien éloignée du maximum d'imbibition. La terre chaulée et humectée était alors introduite dans un grand ballon de verre que l'on fermait immédiatement.

Parallèlement à l'expérience dont on vient de décrire les dispositions, et pour ne pas s'exposer à attribuer à l'action de la chaux ce qui pourrait n'être dû qu'à l'action de l'air et de l'humidité, on en instituait une autre exactement semblable, quant à la nature et au poids de la terre, au volume d'eau employé à l'humectation, mais dans laquelle la chaux n'intervenait pas.

Les deux ballons, l'un contenant la terre chaulée, l'autre la terre non chaulée, étaient soumis aux mêmes influences de température et de lumière. Après un certain temps écoulé, pour apprécier les effets du chaulage, l'on prélevait sur chaque terre un échantillon pour y rechercher l'acide nitrique, et dans ce qui restait l'on dosait l'ammoniaque. Ce dernier dosage, dans la terre qui n'avait pas reçu de chaux, avait lieu par le procédé ordinaire. Mais pour doser l'ammoniaque *toute formée* dans la terre chaulée, il fallait commencer par saturer la chaux avec de l'acide sulfurique dilué exempt d'ammoniaque. L'acide était mis en léger excès pendant 24 heures au moins ; ensuite, on extrayait l'ammoniaque de la terre au moyen de la magnésie pure et calcinée [2]. En comparant les proportions d'ammoniaque et d'acide nitrique

1. L'hydrate de chaux étant conservé dans un flacon fermé, cet hydrate ne renfermait pas la moindre trace de nitrates.

2. Ce procédé qui exige deux distillations, l'une opérée avec de la magnésie pour expulser l'ammoniaque, l'autre sur le produit de la première distillation pour doser l'ammoniaque, sera décrit ultérieurement dans un mémoire.

contenues dans la terre chaulée et dans celle qui ne l'avait pas été, l'on pouvait apprécier l'action que la chaux avait exercée sur les matières organiques azotées du sol. Pour faciliter les comparaisons, on a ramené les résultats à ce qu'ils auraient été si l'on eût opéré sur un kilogramme de terre séchée à l'air.

CHAULAGE DE LA TERRE VÉGÉTALE DU LIEBFRAUENBERG.

Cette terre est sablonneuse, très-riche en détritus organiques, fertile comme toutes les terres de potager.

Un litre de terre séchée à l'air pesait. 1k.300
et renfermait, par kilogramme, au moment de l'expérience :

Ammoniaque *toute formée*	0g.009
Acide nitrique constituant des nitrates	0 .067
Azote appartenant à des matières organiques	2 .093
Carbone faisant partie des matières organiques	24 .000
Acide phosphorique	3 .120[1]
Chaux	5 .516

Par un essai préalable, on reconnut que pour acquérir le degré d'humectation le plus convenable à la végétation, un kilogramme de terre sèche devait recevoir 160 centimètres cubes d'eau. Ainsi humectée, une poignée de terre fortement comprimée dans la main prend assez de consistance pour conserver la forme qu'on lui a donnée sans laisser suinter de l'eau : après la compression, la main reste sèche.

J'ai dit qu'avant de procéder au dosage de l'ammoniaque d'une terre chaulée il fallait commencer par saturer la chaux en laissant agir, pendant 24 heures, l'acide sulfurique pur et dilué. On a donc dû s'assurer si de ce contact prolongé de l'acide avec l'humus du sol, il ne résulterait pas une formation d'ammoniaque.

100 grammes de terre ont été mis dans un ballon avec 100 centimètres cubes de l'acide sulfurique destiné à effectuer la saturation; dans ces 100 centimètres cubes d'acide, il entrait 10 grammes d'acide sulfurique monohydraté. Au bout de 24 heures, l'acide a été saturé par de la magnésie calcinée, *exempte de*

1. On a pris l'acide phosphorique et la chaux dans une analyse de la même terre faite antérieurement à ces expériences.

potasse. Après la saturation, on a ajouté de l'eau pure et l'on a dosé :

Ammoniaque	0.00086
Dans 100 grammes de terre il y avait	0.00090
Différence en moins	0.00004

c'est-à-dire, à 1/25e de milligramme près, ce que la terre renfermait en alcali volatil tout formé.

De cet essai l'on a conclu : 1° que le contact de l'acide sulfurique, dilué avec la terre végétale, ne développe pas d'ammoniaque, alors même que cette terre contient 0g.209 d'azote combiné à des substances organiques; 2° que l'acide sulfurique préparé pour opérer la saturation de la chaux dans le cours de ces recherches, ne renfermait pas la moindre trace d'ammoniaque.

TERRE VÉGÉTALE DU LIEBFRAUENBERG CHAULÉE.

Première expérience. — 1 kilogramme de terre a reçu 0g.3 de chaux. Humecté avec 160 centimètres cubes d'eau pure, le mélange a été introduit dans le ballon, où il est resté du 27 mars au 3 avril 1860.

Dosé : Ammoniaque	0g.021
Avant le chaulage	0 .009
En 6 jours, différence :	+0 .012

Deuxième expérience. — 1 kilogramme de terre a reçu 2 grammes de chaux. Humecté avec 160 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil du 16 au 27 avril 1860.

Dosé : Ammoniaque	0g.016	Acide nitrique	0g.072
Avant le chaulage.	0 .009		0 .067
En 10 jours, différences :	+0 .007		+0 .005

Troisième expérience. — 1 kilogramme de terre a reçu 10 grammes de chaux. Humecté avec 160 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil du 24 au 26 mars 1860.

Dosé : Ammoniaque	0g.043
Avant le chaulage	0 .009
En 2 jours, différence :	+0 .034

Quatrième expérience. — 1 kilogramme de terre a reçu 10 gram-

mes de chaux. Humecté avec 160 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil du 18 février au 20 mars.

Dosé : Ammoniaque.....	0g.085	Acide nitrique........	0g.076
Avant le chaulage.	0 .009		0 .067
En un mois, différences :	+ 0 .076		+ 0 .009

Cinquième expérience. — 1 kilogramme de terre a reçu 10 grammes de chaux. Humecté avec 160 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil du 18 février au 18 avril 1860.

Dosé : Ammoniaque.....	0g.088	Acide nitrique........	0g.064
Avant le chaulage.	0 .009		0 .067
En deux mois, différences :	+ 0 .079		— 0 .003

Résumé des expériences.

CHAUX mise dans 1 kilog. de terre.	EAU donnée à la terre.	DURÉE de l'expérience.	AMMONIAQUE formée.	ACIDE NITRIQUE formé ou détruit.
0g.3	160c.c	6 jours.	0g.012	Non dosé.
2 .0	160	10 jours.	0 .007	+ 0g.005
10 .0	160	2 jours.	0 .034	Non dosé.
10 .0	160	1 mois.	0 .076	+ 0 .009
10 .0	160	2 mois.	0 .079	— 0 .003

L'on reconnaît : 1° que, même à très-faible dose et dans un temps très-court, la chaux a déterminé une formation d'ammoniaque dans la terre du potager du Liebfrauenberg ; 2° qu'en prolongeant l'action de la chaux, la proportion d'ammoniaque a augmenté, mais que cette action paraît avoir été épuisée en un mois ; 3° que la chaux n'a pas favorisé la nitrification, puisque, en définitive, au bout de deux mois, la terre ne renfermait pas plus d'acide nitrique qu'à l'état initial.

Les expériences faites sur de la terre que l'on n'avait pas chaulée ont montré d'ailleurs que l'ammoniaque provenait bien, en grande partie du moins, de l'action exercée par la chaux.

TERRE DU LIEBFRAUENBERG NON CHAULÉE.

Sixième expérience. — 1 kilogramme de terre, après avoir été

humecté avec 160 centimètres cubes d'eau pure, est resté dans l'appareil du 4 mars au 4 avril 1860.

Dosé : Ammoniaque.....	0g.014	Acide nitrique........	0g.300
A l'état initial....	0 .009		0 .067
En un mois, différences :	+0 .005		+0 .233

Septième expérience. — 1 kilogramme de terre, après avoir été humecté avec 160 centimètres cubes d'eau pure, est resté dans l'appareil du 4 mars au 5 mai 1860.

Dosé : Ammoniaque.....	0g.019	Acide nitrique........	0g.293
A l'état initial....	0 .009		0 .067
En deux mois, différences :	+0 .010		+0 .226

Par le seul effet de l'air et de l'humidité, sans le concours de la chaux, il y a eu de l'ammoniaque produite dans la terre, bien qu'en moindre quantité; la nitrification au contraire a pris un notable développement, ce que j'avais déjà observé dans une circonstance où la terre du Liebfrauenberg, au même degré d'humectation, était exposée à l'air libre [1]; comme dans le chaulage, l'effet a été accompli dans le premier mois, et si l'on compare la teneur en ammoniaque et en acide nitrique du sol chaulé et non chaulé après cette période, on a :

	Ammoniaque.	Acide nitrique.
Dans 1 kilogr. de terre chaulée..	0g.085	0g.076
Dans 1 kilogr. de terre non chaulée	0 .014	0 .300
En un mois...........	0 .071	0 .224

Dans la terre chaulée, il y a eu de formé 0g.071 d'ammoniaque de plus que dans celle qui ne l'avait pas été. La terre non chaulée a produit 0g.224 d'acide nitrique de plus que la terre traitée par la chaux. Or, comme 0g.224 d'acide équivalent précisément à 0g.070 d'ammoniaque [2], il en résulte que la chaux n'a pas développé, dans la terre du Liebfrauenberg, plus d'azote assimilable par les plantes que les seules influences de l'air et d'une humidité convenable; la seule différence a uniquement consisté dans la nature du composé où cet azote assimilable était engagé : dans un cas, de l'ammoniaque; dans l'autre, de l'acide nitrique.

1. Boussingault, *Agronomie, chimie agricole*. 2e édition, t. II, p. 10.

2. Équivalent de l'acide nitrique, 675. — Équivalent de l'ammoniaque, 212-15.

TERRE VÉGÉTALE DE LA FERME DE MERCKWILLER (Bas-Rhin).

C'est un *lehm* de bonne qualité; l'échantillon a été prélevé dans un champ où je cultive du tabac depuis plusieurs années. Cette terre, assez argileuse, d'un jaune foncé, séchée à l'air, renfermait par kilogramme :

Ammoniaque *toute formée*	0g.011
Acide nitrique constituant des nitrates	0 .042
Azote appartenant à des matières organiques	1 .400
Carbone faisant partie de matières organiques	12 .000
Acide phosphorique	1 .425
Chaux	21 .000

On reconnut que, pour acquérir la consistance la plus favorable à la végétation, 1 kilogramme de terre séchée à l'air devait recevoir 180 centimètres cubes d'eau [1].

Huitième expérience. — 1 kilogramme de terre de Merckwiller a reçu 0g.3 de chaux. Humecté avec 180 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil du 27 mars au 6 avril 1860.

Dosé : Ammoniaque	0g.018
Avant le chaulage	0 .011
En 6 jours, différence :	+ 0 .007

Neuvième expérience. — 1 kilogramme de terre a reçu 2 grammes de chaux. Humecté avec 180 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil du 16 mars au 27 avril 1860.

Dosé : Ammoniaque	0g.021	Acide nitrique	0g.050
Avant le chaulage	0 .011		0 .042
En 10 jours, différences :	+ 0 .010		+ 0 .008

Dixième expérience. — 1 kilogramme de terre a reçu 10 grammes de chaux. Humecté avec 180 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil du 18 février au 18 mars 1860.

Dosé : Ammoniaque	0g.057	Acide nitrique	0g.022
Avant le chaulage	0 .011		0 .042
En 1 mois, différences :	+ 0 .046		— 0 .020

1. Le litre de terre séchée à l'air pesait 1k.400.

Onzième expérience. — 1 kilogramme de terre a reçu 10 grammes de chaux. Humecté avec 180 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil du 18 février au 19 avril 1860.

Dosé : Ammoniaque.....	0g.047	Acide nitrique........	0g.076
Avant le chaulage..	0 .011		0 .042
En 2 mois, différences :	+ 0 .036		+ 0 .034

Résumé des expériences.

CHAUX mise dans 1 kilog. de terre.	EAU donnée à la terre.	DURÉE de l'expérience.	AMMONIAQUE formée.	ACIDE NITRIQUE formé ou détruit.
0g.3	180c.c	6 jours.	0g.007	Non dosé.
2 .0	180	10 jours.	0 .010	+ 0g.008
10 .0	180	1 mois.	0 .046	— 0 .020
10 .0	180	2 mois.	0 .036	+ 0 .034

TERRE DE MERCKWILLER NON CHAULÉE.

Douzième expérience. — 1 kilogramme de terre, après avoir été humecté avec 180 centimètres cubes d'eau pure, est resté dans l'appareil du 3 mars au 4 avril 1860.

Dosé : Ammoniaque.....	0g.009	Acide nitrique........	0g.229
A l'état initial....	0 .011		0 .042
En 1 mois, différences :	— 0 .002		+ 0 .187

Treizième expérience. — 1 kilogramme de terre, après avoir été humecté avec 180 centimètres cubes d'eau pure, est resté dans l'appareil du 3 mars au 9 mai 1860.

Dosé : Ammoniaque.....	0g.009	Acide nitrique........	0g.218
A l'état initial....	0 .011		0 .042
En 2 mois, différences :	— 0 .002		+ 0 .176

On remarquera que le développement de l'ammoniaque dans la terre de Merckwiller chaulée, quoique moins prononcée que dans la terre du Liebfrauenberg, a présenté les mêmes circonstances : action de la chaux épuisée dans le premier mois; nitrification à peu près nulle et, au contraire, production d'acide

nitrique, sans production d'ammoniaque, dans la terre non chaulée. C'est ce qui ressort de la comparaison des dosages :

	Ammoniaque.	Acide nitrique.
Dans 1 kilogr. de terre chaulée...	0g.057	0g.022
Dans 1 kilogr. de terre non chaulée	0 .009	0 .229
	0 .048	0 .207

0g.207 d'acide nitrique équivalent à 0g.065 d'ammoniaque; d'où l'on voit que, sans le concours de la chaux, la terre, en un mois, a acquis par la nitrification un peu plus d'azote assimilable par les plantes que la terre chaulée.

TERRE VÉGÉTALE DU QUESNOY-SUR-DEULE, PRÈS LILLE.

Cette terre, une des plus fertiles du département du Nord, m'a été remise par M. Corenwinder. Séchée à l'air, elle est d'un jaune pâle, extrêmement meuble, sablonneuse. Le litre a pesé 1k.055. Le champ où on l'a prise reçoit depuis plusieurs siècles de l'*engrais flamand.*

L'analyse a indiqué dans 1 kilogramme de la terre du Quesnoy:

Ammoniaque *toute formée*....................	0g.012
Acide nitrique constituant des nitrates..........	0 .022
Azote appartenant à des matières organiques......	0 .874
Carbone appartenant à des matières organiques...	6 .900
Acide phosphorique.........................	8 .900
Chaux...................................	2 .240
Oxyde de fer dosé à l'état de sesquioxyde........	22 .400
Acide carbonique,.........................	0 .000[1]
Eau éliminable à 110 degrés..................	52 .000
Sable siliceux............................	880 .200
Matières indéterminées, perte................	26 .452
	1000 .000

On a trouvé que, pour amener la terre du Quesnoy au point convenable d'humectation, il fallait y introduire, par kilogramme, 100 centimètres cubes d'eau.

1. L'absence de l'acide carbonique, c'est-à-dire des carbonates, dans une terre aussi fertile, est un fait fort singulier; mais, en opérant sur 50 grammes de matière, par les procédés les plus délicats, on n'a pu constater la présence de cet acide.

Quatorzième expérience. — 1 kilogramme de terre du Quesnoy a reçu 10 grammes de chaux. Humecté avec 100 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil du 16 au 30 mars 1861.

Dosé : Ammoniaque.....	0g.030	Acide nitrique........	0g.004
Avant le chaulage.	0 .012		0 .022
En 14 jours, différences :	+0 .018		— 0 .018

Quinzième expérience. — 1 kilogramme de terre a reçu 10 grammes de chaux. Humecté avec 100 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil du 19 février au 12 mars 1861.

Dosé : Ammoniaque.....	0g.032	Acide nitrique........	0g.000
Avant le chaulage.	0 .012		0 .022
En 1 mois 6 jours, différences :	+0 .020		— 0 .022

Résumé des expériences.

CHAUX mise dans 1 kilog. de terre.	EAU donnée à la terre.	DURÉE de l'expérience.	AMMONIAQUE formée.	ACIDE NITRIQUE formé ou détruit.
10 gr.	100c.c	14 jours.	0g.018	—0g.018
10	100	5 semaines.	0 .020	— 0 .022

TERRE DU QUESNOY NON CHAULÉE.

Seizième expérience. — 1 kilogramme de terre, après avoir été humecté avec 100 centimètres cubes d'eau pure, est resté dans l'appareil du 19 février au 12 mars 1861.

Dosé : Ammoniaque.....	0g.013	Acide nitrique........	0g.032
A l'état initial....	0 .012		0 .022
En 1 mois, différences :	+0 .001		+0 .010

Si l'on compare les proportions des deux substances trouvées dans la terre chaulée et dans celle qui ne l'a pas été, on a :

	Ammoniaque.	Acide nitrique.
Dans 1 kilogr. de terre chaulée..	0g.032	0g.000
Dans 1 kilogr. de terre non chaulée	0 .013	0 .032
	0 .019	0 .032=0 .010 d'azo.

Ce qui indiquerait que la chaux aurait produit dans la terre du Quesnoy à peu près une fois autant d'azote assimilable qu'une jachère d'un mois de durée.

Ces expériences établissent que si la chaux, tant qu'elle reste caustique, provoque constamment un développement d'ammoniaque en réagissant sur la terre végétale, elle ne favorise pas la nitrification, elle paraît même contribuer à la destruction de l'acide nitrique préexistant dans le sol ; de sorte que, en tenant compte de la disparition du salpêtre, l'ammoniaque formée sous l'influence de l'alcali n'ajouterait réellement qu'une quantité assez limitée d'azote assimilable. Il y a plus, on a vu que, l'état d'humectation et les autres circonstances étant les mêmes de part et d'autre, une terre non chaulée pouvait acquérir, en nitrates, une proportion d'azote assimilable égale et même supérieure à celle acquise, en ammoniaque, par une terre à laquelle on avait donné de la chaux. Mais il ne faut pas oublier que ces observations comparatives ont été faites sur des terres que l'on avait humectées juste avec la proportion d'eau qui leur communiquait la consistance reconnue comme la plus favorable à la nitrification. De la terre végétale très-humide, portée, par exemple, à son maximum d'imbibition, ne donne plus de salpêtre, comme je l'ai constaté maintes fois; or cet excès d'humidité se rencontre réellement dans un sol chaulé quand survient un temps pluvieux. Il y avait par conséquent à rechercher si la chaux ne continuerait pas à développer de l'ammoniaque dans cette condition.

On a disposé deux expériences : dans l'une, la terre très-humide a été chaulée; dans l'autre, elle ne l'a pas été.

Dix-septième expérience. — 1 kilogramme de terre de Merckwiller a reçu 10 grammes de chaux; on a ajouté 400 centimètres cubes d'eau pure; le mélange, formant une pâte assez liquide, est resté dans l'appareil du 2 au 18 avril 1861.

Dosé :	Ammoniaque....................	0g.041
	Avant le chaulage...............	0 .011
	En 16 jours, différence :	+ 0 .030

Dix-huitième expérience. — 1 kilogramme de la même terre, après avoir été mouillé avec 400 centimètres cubes d'eau, est resté dans l'appareil du 2 au 18 avril 1861

Dosé :	Ammoniaque..................	0g.027
	A l'état initial..................	0 .011
	En 16 jours, différence :	+ 0 .016

Dix-neuvième expérience. — 1 kilogramme de la terre du Quesnoy-sur-Deule a reçu 10 grammes de chaux; on y a mis ensuite 300 centimètres cubes d'eau pure; le mélange de consistance pâteuse est resté dans l'appareil du 2 au 17 avril 1861.

Dosé :	Ammoniaque..................	0g.037
	Avant le chaulage..............	0 .012
	En 15 jours, différence :	+ 0 .025

Vingtième expérience. — 1 kilogramme de la même terre, après avoir été mouillé avec 300 centimètres cubes d'eau pure, est resté dans l'appareil du 2 au 17 avril 1861.

Dosé :	Ammoniaque..................	0g.008
	A l'état initial..................	0 .012
	En 15 jours, différence :	— 0 .004

Ainsi, par la seule action de la chaux, puisqu'elle s'est exercée dans les conditions où il ne pouvait pas y avoir formation de salpêtre, deux terres de natures fort diverses ont acquis, par kilogramme et dans l'espace de 15 jours, près de 0g.03 d'ammoniaque. Sans doute, il peut arriver que les avantages résultant de ce développement d'ammoniaque soient singulièrement atténués par la disparition de l'acide nitrique préexistant dans la terre; mais toujours est-il que la chaux provoque la formation d'un agent puissant de fertilité dans toutes les conditions possibles d'humidité; et, quand on n'oppose pas au résultat certain qu'elle procure la production plus éventuelle des nitrates, on est bien forcé de reconnaître que, dans les cas les plus ordinaires, le chaulage doit occasionner un accroissement notable dans l'azote assimilable du sol.

Discutons, à ce point de vue, les nombres fournis par les expériences.

DÉSIGNATION DES TERRES.	CHAUX donnée à 1 kil. de terre.	AMMONIAQUE formée.	ACIDE NITRIQUE formé ou détruit.	AMMONIAQUE acquise par le kil. de terre[1].	AMMONIAQUE formée pour 100 de chaux.
	g.	g.	g.	g.	
Liebfrauenberg.......	0.3	0.012	»	0.012	4.00
Id................	10.0	0.034	»	0.034	0.34
Id................	10.0	0.076	+0.009	0.079	0.79
Id................	10.0	0.079	—0.001	0.078	0.78
Merckwiller..........	0.3	0.007	»	0.007	2.33
Id................	2.0	0.010	+0.008	0.013	0.65
Id................	10.0	0.046	—0.020	0.040	0.40
Id................	10.0	0.036	+0.034	0.047	0.47
Quesnoy............	10.0	0.018	—0.018	0.012	0.12
Id................	10.0	0.020	—0.022	0.013	0 13
			Moyenne.....	0.033	

1. L'ammoniaque formée par le chaulage à laquelle on a ajouté ou soustrait l'ammoniaque équivalente à l'acide nitrique formé ou détruit.

On remarquera que l'ammoniaque développée est bien loin d'être en rapport avec les quantités de chaux que l'on a fait intervenir. Le chaulage à petite dose, comme dans le saupoudrage, donnerait 4 kilogrammes d'ammoniaque pour 100 kilogrammes de chaux : c'est là de l'ammoniaque à bon marché. Il n'en est plus ainsi dans les chaulages à hautes doses, lorsque 1,000 kilogrammes de chaux ne développent que 7 kilogrammes d'ammoniaque et moins encore.

Si la chaux n'exerçait pas une autre action que celle de favoriser la production de l'ammoniaque, on ne comprendrait pas l'avantage de l'emploi de la chaux à très-hautes doses, et l'on devrait donner la préférence aux chaulages à très-faibles doses, comme les saupoudrages faits avant le hersage; car, en réalité, dans une terre riche en humus, incorporer 25 kilogrammes de chaux, c'est comme si on y introduisait 1 kilogramme d'ammoniaque.

Le développement pour ainsi dire instantané de 0g.03 d'ammoniaque par kilogramme comme résultat du chaulage paraîtra très-faible. Cependant c'est plus d'ammoniaque *toute formée* que n'en renferment généralement les meilleures terres dans notre climat. Voici, pour appuyer cette assertion, les dosages exécutés

sur des terres végétales de différentes localités. J'y ai joint les quantités d'azote et de carbone appartenant à l'humus et aux matières organiques.

LOCALITÉS.		Dans 1 kilogr. de terre séchée à l'air.		
		AMMONIAQUE toute formée.	AZOTE appartenant à des matières organiques.	CARBONE appartenant à des matières organiques.
		g.	gr.	gr.
Liebfrauenberg	Alsace.	0.022	2.610	24.300
Liebfrauenberg	Alsace.	0.020	2.504	24.300
Liebfrauenberg	Alsace.	0.009	2.093	24.000
Bitschwiller	Alsace.	0.020	2.951	28.770
Merckwiller	Alsace.	0.011	1.400	12.000
Bechelbronn	Alsace.	0.009	1.397	11.590
Mitelhausbergen	Alsace.	0.007	»	»
Ile Napoléon (Mulhouse)	Alsace.	0.006	»	»
Argentan (Orne)		0.060	5.130	40.900
Quesnoy-sur-Deule (Nord)		0.012	0.874	6.900
Moyenne		0.017		
AMÉRIQUE :				
Rio Madeira		0.090	1.428	9.100
Rio Trombetto		0.030	1.191	5.863
Rio Negro		0.038	0.688	3.900
Santarem		0.083	6.490	71.585
Ile du Salut		0.080	5.434	63.980
Martinique		0.055	1.118	9.000
Moyenne		0.063		

L'ammoniaque *toute formée* dans 1 kilogramme des terres végétales de nos contrées que j'ai examinées jusqu'à présent, ne dépasserait donc pas 0g.02; elle irait à 0g.063 dans les sols les plus fertiles de la vallée des Amazones. Or, dans les expériences dont j'ai fait connaître les résultats, l'ammoniaque attribuable à l'action de la chaux, acquise par 1 kilogramme de terre, a été de 0g.033 en moyenne; de sorte que le chaulage aurait eu pour effet de doubler et au delà la quantité d'ammoniaque contenue dans le sol. Sans doute, la chaux n'a pas créé cette ammoniaque, elle l'a développée en réagissant sur des matières organiques azotés stables, matières qui, par l'effet du temps, de la jachère, eussent fini probablement par être transformées partiellement en principes fertilisants sans l'intervention de la chaux.

Mais alors, demandera-t-on, où est l'utilité du chaulage? Pour répondre à cette question, il est nécessaire de présenter quelques considérations générales sur la nature de la terre végétale.

La terre est un mélange de substances minérales auquel sont associés des débris organiques dans un état plus ou moins avancé de décomposition, tels que l'humus, le terreau susceptibles de donner, en se modifiant, des sels ammoniacaux et des nitrates, les seules composés connus jusqu'à présent comme capables d'offrir à la plante de l'azote qu'elle puisse fixer dans son organisme. Cela est si vrai, qu'une terre riche en matières azotées se comporte vis-à-vis des végétaux à peu près comme un sol stérile, tant que, parmi ces matières, il n'y a pas d'ammoniaque ou d'acide nitrique. Un sol peut donc renfermer des quantités considérables d'azote engagées dans d'autres combinaisons, sans pour cela pouvoir être cultivé avec profit, si on ne lui donne pas des engrais apportant immédiatement ou formant dans un cours délai des matières azotées assimilables. S'il en était autrement, si la totalité de l'azote que l'analyse y signale était assimilable par les plantes, le plus souvent le fumier deviendrait inutile; cependant la pratique agricole reconnaît que, à moins d'une richesse de fonds tout à fait exceptionnelle, il n'y a pas de culture lucrative sans le concours des engrais. L'azote que l'on dose par le procédé le plus généralement suivi, celui de la chaux sodée, bien qu'étant obtenu à l'état d'ammoniaque, n'est pas dans la terre à l'état d'ammoniaque, comme on l'a admis beaucoup trop légèrement; la plus grande partie de l'alcali est formée et non pas déplacée; aussi convient-il d'exprimer en azote la presque totalité de l'ammoniaque indiquée par divers observateurs. Pour faciliter les comparaisons, je supposerai la profondeur du labour de 1/3 de mètre, par conséquent 3,333 mètres cubes pour le volume de la couche de terre végétale d'un hectare.

***Résultats obtenus en Prusse dans le Landes-Œconomie-Collegium*[1].**

LOCALITÉS.	AZOTE par hectare.
	kilogramme.
Terre de : Harvirbec	16678
Burgwegeleben	15889
Jurgaitschen	13273
Wollup	12164
Beesdau	7205
Turwe	6826
Dalheim	6447
Laasom	5310
Eldena	4930
Burgbornheim	4930
Neuhofs	4551
Neuensund	4171
Frankenfeld	3792
Cartlow	2654

Résultats obtenus par M. Schmidt sur de la terre noire de Russie (Tcherno-Sem), dans le gouvernement d'Orel. Les trois premiers échantillons avaient été prélevés dans un sol vierge; le quatrième dans une terre cultivée sans fumier. D'après les analyses de M. Schmidt et les calculs de M. Liebig, l'hectare de terre noire renfermerait en azote :

Échantillon	I.	Couche supérieure.	45.503 kilogrammes.
—	II.	(4 *verschok* plus bas). . . .	20.480
—	III.	Surface du sous-sol.	18.490
—	IV.	Terre arable non fumée. . .	21.997

Résultats obtenus par M. Schlossberger sur six échantillons de terres prises dans des cultures de tabac à la Havane. Ce sol, presque exclusivement calcaire, est fortement coloré par de l'oxyde de fer; il contiendrait par hectare; azote :

Échantillon	I.	8.343 kilogrammes.
—	II.	11.377
—	III.	1.517
—	IV.	9.105
—	V.	13.273
—	VI.	9.481

1. Liebig; *über Theorie und prasis in der Landwirthschaft, Braunwschweig*. 1856.

Résultats obtenus par M. Liebig sur des terres prises dans les environs de Munich.

Terre d'un potager, azote par hectare......	21.237 kilogrammes.
d'un jardin botanique..............	21.100
d'un sol non fumé.................	19.341

Résultats obtenus par M. Krocker pour 1 de terre.

Dans une terre argileuse, dosé : *ammoniaque*........	0.00170
une terre de Hohenheim...................	0.00156
du sous-sol de la même terre..	0.00104
une terre de l'Illinois (Amérique)...........	0.00116
une terre sablonneuse inculte...............	0.00096
une marne....................... ...	0.00099

Ce sont ces derniers résultats d'analyses faites en 1846, dans le laboratoire de Giesen, qui décidèrent M. Liebig à considérer les terres végétales comme possédant, par hectare, de fortes proportions d'ammoniaque, atteignant dans les plus riches 55,000, dans les plus pauvres 2,000 kilogrammes, beaucoup plus que n'en demandent annuellement les plus abondantes récoltes, et devant, par conséquent, diminuer l'importance que l'on accordait généralement aux principes azotés des engrais. D'après cette manière de voir, les éléments essentiels du fumier résidaient dans les substances minérales. Les cultivateurs repoussèrent cette doctrine. C'était de l'agriculture d'université. Sans doute, s'ils reconnaissaient que dans les cendres végétales dénuées de matières organiques azotées, mais renfermant des phosphates, des sels de potasse, il y avait de précieux agents de fertilité, ils n'en proclamaient pas moins l'incontestable efficacité des matières animalisées des fumiers. Je fis alors cette remarque critique, que si M. Krocker se fût appliqué à doser l'acide phosphorique, la potasse, etc., dans les sols dont il avait réellement dosé l'azote et non l'ammoniaque qui ne s'y trouvait pas, il en aurait certainement rencontré aussi quelques millièmes qui, multipliés par le poids de la terre d'un hectare, se seraient traduits par des milliers de kilogrammes, et qu'en définitive on n'aurait pas manqué d'arriver à cette conclusion, que, dans un sol arable, il pouvait y avoir autant et même plus de phosphates, de potasse, de substances minérales utiles aux plantes, que d'azote. Cette critique, appuyée sur deux analyses seulement, à l'époque

où je la formulai, a été corroborée depuis par de laborieuses recherches entreprises en Allemagne à l'instigation de M. Magnus [1]. Voici les proportions des principales substances minérales trouvées dans des terres dont on avait dosé l'azote.

Résultats moyens des analyses de terres arables faites au Kœnigliche Landes-Œconomie-Kollegium : dans 1000 parties de terre.

DÉSIGNATION DES TERRES.	AZOTE.	CARBONE.	ACIDE carbonique.	ACIDE phosphorique.	ACIDE sulfurique.	CHLORE.	POTASSE.	SOUDE.	CHAUX.	OXYDE de fer.	MAGNÉSIE.
Harvirbec....	3.57	13.79	4.07	2.29	5.57	0.07	10.52	3.77	18.44	21.03	2.39
Burgwegeleben	3.52	17.41	18.40	5.18	8.77	0.09	12.87	5.01	59.02	77.71	9.87
Jurgaitschen..	2.90	23.20	5.70	2.65	0.56	0.10	16.19	8.67	13.92	16.10	13.92
Wollup......	2.56	25 62	0.63	3.37	0.50	0.13	15.75	9.74	11.65	72.74	10.96
Beesdau.....	1.65	12.50	0.36	0.32	0.04	0.62	17.02	5.86	5.19	18.05	5.67
Turwe.......	1.48	14 63	0.08	0.90	0.31	0.08	8.17	8.65	27.91	13.77	8.41
Dalheim.....	1.50	13 96	2.50	5.53	0.42	0.12	19.19	8.55	7.44	33.25	5.48
Laasom......	1.21	12.05	10.00	0.73	0.37	0.09	9.79	2.91	8.32	55.80	2.89
Eldena......	1.11	8.40	2.00	2.10	0.50	0.72	10.40	10.50	2.40	12.10	2.26
Burgbornheim.	1.06	10.52	0.98	0.53	0.29	0.11	11.45	6.47	10.72	35.29	7.21
Neuhofs.....	0.98	12.42	0.29	0.60	0.20	0.09	12.13	5.87	7.89	27.48	7.89
Neuensund...	0.87	11.64	3.05	0.61	1.10	0.14	20.21	5.56	10.11	24.17	5.87
Frankenfeld..	0.86	7.55	»	1.64	0 16	0.10	13.05	5.73	8.21	23.23	9.50
Cartlow.....	0.60	9.33	0.59	0.07	0.24	0.06	10.19	6.14	5.65	19.56	25.67

La plus grande partie des alcalis des terres mentionnées dans ce tableau était unie aux acides phosphorique et sulfurique, leurs métaux au chlore; mais indépendamment des phosphates, des sulfates et des chlorures, la terre végétale renferme encore des carbonates de chaux, de magnésie, de potasse et de soude; ces deux derniers alcalis y sont aussi combinés à des acides bruns de l'humus. Ce sont ces carbonates alcalins, ainsi que la potasse, la soude engagées avec les matières humiques, qu'il eût été important de connaître, par la raison que c'est sous ces différents états que la potasse et la soude passent plus directement dans les plantes où nous les trouvons unies à des acides organiques formés pendant l'acte de la végétation. Dans un travail aussi considérable que celui dont je présente les résultats, c'est une lacune regrettable que de ne pas avoir établi cette dis-

1. *Devicht über Versuch beltrenffend die Erschœpfung des Bodens, welche das Kœnigliche Landes-Œconomie-Kollegium Veranlaszt hat.*

tinction dans l'état des alcalis. Cette lacune, j'ai essayé de la combler pour plusieurs des sols que j'ai examinés, en me bornant à rechercher les alcalis formant des carbonates et des sels à acides bruns.

La terre desséchée était traitée par de l'acide acétique pur et bouillant, la dissolution acide évaporée à siccité, le résidu incinéré à une basse température; après avoir ajouté aux cendres du carbonate d'ammoniaque pour reconstituer les carbonates de chaux et de magnésie que la chaleur avait pu décomposer, on lessivait et l'on dosait l'alcali par les liqueurs titrées. L'alcali dosé est exprimé en potasse, bien que, en réalité, la potasse contînt de la soude.

Dans 1 kilogramme de terre :

Du Liebfrauenberg, dosé	0g.040	d'alcali.
De Bechelbronn	0 .560	
De Bitschwiller	0 .240	
Un terreau de maraîcher	0 .804	

Ces quantités sont bien inférieures à celles trouvées par les chimistes allemands qui ont dosé la potasse ou la soude en bloc, tandis qu'ici la potasse et la soude des phosphates, des sulfates, des chlorures ont été éliminées.

D'après les données analytiques obtenues en Allemagne, recherchons ce qu'un hectare, quatre millions de kilogrammes de terre labourée, renferme d'acide phosphorique, de potasse, de chaux, de magnésie. J'ai pris les trois terres les plus riches et les trois terres les plus pauvres en phosphates.

DÉSIGNATION DES TERRES.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	AZOTE[1].
	k.	k.	k.	k.	k.
Dalheim	22.120	76.760	29.760	21.920	6.000
Burgwegeleben	20.720	51.480	236.080	39.480	14.080
Wollup	13.480	63.000	46.600	43.840	10.440
—					
Burgbornheim	2.120	45.800	42.880	28.840	4.240
Beesdau	1.280	68.080	20.760	22.680	6.600
Cartlow	280	40.760	22.600	102.680	2.400

1. Les différences que l'on remarque entre ces proportions d'azote et celles qui figurent dans le tableau tiré de l'ouvrage de M. Liebig, tiennent à ce que j'ai adopté pour le poids de la terre labourée d'un hectare, 4 millions de kilogrammes; M. Liebig a pris un nombre plus fort.

En prenant seulement les alcalis formant des carbonates ou des sels à acides bruns, on aurait par hectare :

Pour la terre	du Liebfrauenberg	160
—	du Bechelbronn	2240
—	de Bitschwiller	960
	terreau de maraîcher	32160

Ainsi, s'il est vrai que l'hectare de terre renferme de fortes quantités d'azote, il ne l'est pas moins qu'il renferme souvent aussi des quantités non moins fortes de phosphates, de potasse, de chaux, de magnésie, en un mot, de substances minérales essentielles à la vie des plantes, et si l'on s'en rapportait uniquement aux données de l'analyse, on en conclurait que, généralement parlant, les sols arables sont foncièrement assez riches pour qu'il ne soit pas plus indispensable de les amender avec des substances minérales qu'avec des engrais azotés. Comme conséquence de cette conclusion, on arriverait à nier l'utilité des fumiers. En effet, pourquoi incorporerait-on de l'azote à un sol dont l'hectare en contiendrait déjà 20,000 kilogrammes? pourquoi y introduirait-on des phosphates, des sels alcalins, lorsque dans un hectare il y aurait déjà plusieurs milliers de kilogrammes d'acide phosphorique et de potasse? En un mot, où serait la nécessité d'amender un sol possédant en azote, en substances minérales de quoi fournir amplement aux récoltes, comme l'on peut s'en convaincre en comparant à ce que la terre végétale contient de ces matières, ce que les cultures en assimilent?

Prélèvement fait sur un hectare[1], par diverses cultures.

	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.	CHAUX magnésie.	SILICE.
	k.	k.	k.	k.	k.
Pommes de terre (les tubercules).	46	14	64	9	7
Blé et paille	44	19	27	26	132
Betteraves (les racines)	54	12	90	23	16
Topinambours (les tubercules)	88	36	147	14	43
Trefle	85	20	96	100	16

1. Boussingault; *Économie rurale*, 2e édition, t. II, p. 184 et 215. Ces résultats sont les moyennes des récoltes faites à Bechelbronn.

De ces nombres, il est permis de conclure qu'il est des terres, comme celles de Burgwegeleben et de Dalheim, qui, si l'on s'en rapportait à l'analyse, pourraient fournir pendant des siècles, sans jamais recevoir de fumier, l'une de l'azote, l'autre de l'acide phosphorique et de la potasse aux récoltes les plus épuisantes. Mais, il faut bien le reconnaître, cette richesse du sol, signalée par les chimistes, est un capital passif dont le cultivateur ne dispose pas à son gré, parce qu'une très-forte fraction des substances fertilisantes qui le constitue ne sont pas dans des conditions propres à l'assimilation. Tout l'azote de la terre n'est pas à l'état d'ammoniaque ou d'acide nitrique. L'examen que j'ai fait des sols de diverses provenances ne laisse pas le moindre doute à cet égard. Je ne me suis pas borné à doser l'azote brut, j'ai aussi dosé l'ammoniaque toute formée, les nitrates, l'acide phosphorique et le carbone qui est, jusqu'à un certain point, la mesure de l'humus ou celle des débris organiques. Or, j'ai bientôt reconnu combien est faible, en général, la proportion d'azote assimilable de la terre végétale, soit à l'état d'ammoniaque, soit à l'état d'acide nitrique. Voici le résumé des analyses. Les résultats sont rapportés à un hectare renfermant quatre millions de kilogrammes de terre sèche.

DÉSIGNATION DES TERRES.	ACIDE phosphorique.	CARBONE appartenant à des matières organiques.	NITRATES exprimés en nitrate de potasse.	AZOTE appartenant à des matières organiques.	AMMONIAQUE toute formée.	AMMONIAQUE calculée d'après l'azote dosé.
	k.	k.	k.	k.	k.	k.
Terre forte de Bechelbronn......	5.700	46.360	75	6.985	45	8.482
Terre légère du Liebfrauenberg.	12.480	97.200	875	12.970	100	15 806
Terre légère de Bitschwiller....	22.144	115.080	7.630	14.755	100	17.917
Terre d'Argentan (Orne)..........	3.772	163.600	230	25.650	300	31.146
Terre du Quesnoy (Nord).........	35.600	27.600	164	3.536	48	4.229
Terre du Rio Madeira (Brésil)...	3.456	36.400	16	5.712	360	7.295[1]

1. L'azote de l'ammoniaque toute formée étant réuni à l'azote des matières organiques.

Il y a donc d'énormes différences entre les quantités d'ammoniaque préexistant dans le sol, l'*ammoniaque toute formée*, et celle que l'on a supputée arbitrairement d'après l'azote dosé. Quant à

l'origine de cette *ammoniaque toute formée*, on l'a attribuée à la propriété absorbante que l'argile, l'oxyde de fer, etc., exercent sur les vapeurs ammoniacales répandues dans l'atmosphère; mais, en faisant cette supposition, on oubliait qu'une terre végétale mouillée, lorsqu'elle se dessèche, émet continuellement de ces mêmes vapeurs, de sorte qu'il serait tout aussi rationnel d'admettre que c'est la terre qui fournit de l'ammoniaque à l'atmosphère.

Il ressort des faits précédemment exposés qu'une terre fort riche en azote peut néanmoins ne renfermer que fort peu de principes *actuellement* assimilables par les végétaux. Voilà pourquoi les plantes, quand elles sont placées dans un volume de terre fertile très-restreint, ne se développent pas beaucoup mieux que dans une terre rendue stérile par la calcination; c'est que toute la matière azotée n'intervient pas. Il en est ainsi des phosphates, des substances minérales du sol; c'est qu'il faut aussi que ces éléments minéraux, de même que les éléments azotés, soient dans une condition favorable à l'assimilation, état particulier que la science ne sait pas définir, impuissance qui rend encore si incertaines les données de l'analyse chimique, lorsqu'on essaye de les appliquer aux questions qui se rattachent à la constitution de la terre végétale. Sans doute, les matières azotées non assimilables ne sont pas douées d'une telle stabilité que les influences météorologiques ne puissent les modifier en principes fertilisants, en ammoniaque, en acide nitrique. L'azote compris dans la terre, quelle que soit la nature des combinaisons stables dans lesquelles il est engagé, doit être considéré comme une source plus ou moins lente de fertilité. Les météores aqueux, l'atmosphère, la constitution minéralogique du terrain aidant, cette source suffit à la végétation naturelle, surtout dans nos climats, où elle n'a pas toujours l'intensité ou la rapidité de la végétation des champs en culture.

La prodigieuse accumulation d'éléments azotés dans la terre végétale est un fait considérable dont l'importance a été révélée pour la première fois par M. Liebig; elle explique comment il arrive qu'il y ait plus d'azote dans les récoltes faites dans le cours d'un assolement que dans les engrais, qui ont concouru à les produire, bien qu'il soit établi par mes expériences que l'azote

gazeux de l'air atmosphérique n'est pas directement assimilable par les plantes [1].

L'on peut différer d'opinion sur la nature comme sur la source de ces éléments, dont la moins contestable est qu'ils sont les débris d'êtres qui ont vécu ou végété sur le globe; mais ce qui frappe par-dessus tout, c'est l'immense quantité de ces restes de l'organisme enfoui dans le diluvium. Que l'on considère seulement le sol de la France évalué à 50 millions d'hectares portant des forêts, des prairies, des cultures, etc.

Que l'on accorde à chacun de ces hectares 5,000 kilogrammes d'azote, on arrive à 250 millions de tonnes, et c'est là un minimum, puisqu'on n'a pas tenu compte du sous-sol, quelquefois aussi riche en azote que la terre qui le recouvre. Que l'on porte à 2 p. 100 l'azote de la matière organique, proportion que l'on trouve dans la tourbe, l'on aura pour le poids de cette matière organique 12500 millions de tonnes, c'est-à-dire que dans la terre végétale de la France il y a plusieurs milliers de fois autant d'azote qu'il y en avait dans les gisements de guano du Pérou, alors qu'ils étaient intacts. Que serait-ce si l'on appliquait ces nombres aux vallées des grands fleuves du nouveau continent, de l'Afrique, de l'Asie, où la terre, d'une richesse exceptionnelle en humus, a souvent plusieurs mètres d'épaisseur? La terre végétale, partout à la surface du globe, est donc abondamment pourvue d'azote; et, en faisant ressortir ce fait, M. Liebig a introduit dans la science une donnée aussi nouvelle que féconde.

Un hectare de sol arable où il y a assez d'humus, de débris de végétaux, pour représenter 5,000 kilogrammes d'azote, est aussi riche de ce dernier élément que s'il eût été amendé avec trois à quatre cents quintaux du meilleur guano, et cependant il pourrait fort bien arriver qu'une culture entreprise sur ce sol ne fût pas rémunératrice, si l'on se dispensait de donner du fumier; c'est que la presque totalité de cet azote constitutionnel de la terre végétale, comme nous l'avons vu, est engagé dans des combinaisons stables, inertes, vis-à-vis des plantes. Mais nous avons vu aussi que par certaines influences ces composés azotés, inertes, sont modifiés en composés dont l'azote est assimilable par les plantes; et la chaux, comme le prouve ces re-

1. Expériences répétées en Angleterre par MM. Lawe, Gilbert et Pubg.

cherches, est sans aucun doute l'agent qui opère le plus rapidement cette modification, alors même que l'excès d'humidité dont la terre est pénétrée s'oppose à la nitrification, modification qui détermine une production d'ammoniaque; et il ne faudrait pas juger de son efficacité d'après la faible quantité d'alcali volatil formée dans un kilogramme de terre, puisque cette quantité doit être multipliée par 4 millions s'il s'agit d'un hectare : par exemple, d'après les expériences que j'ai fait connaître, l'hectare de terre aurait acquis, après avoir été chaulé avec 400 quintaux de chaux, 120 kilogrammes d'ammoniaque, c'est-à-dire, en azote assimilable, l'équivalent de 857 kilogrammes d'un excellent guano.

Comme résultat extrême de ce développement, on aurait eu :

			kil.		kil.
Pour la terre du Liebfrauenberg :	ammoniaque,	minimum,	136	maximum,	316
Pour la terre de Merckwiller :	id.	id.	160	id.	188
Pour la terre du Quesnoy :	id.	id.	48	id.	52

Cette production pour ainsi dire instantanée d'ammoniaque, sous l'influence de la chaux, doit être fort utile, sans doute; cependant, si le chaulage n'avait pas d'autre objet, ce serait, après tout, une opération désavantageuse. En effet, prenons 1 fr. 50 c. pour le prix du quintal de chaux rendu sur place. Le kilogramme d'ammoniaque, développé par un chaulage fait à raison de 400 quintaux par hectare, reviendrait :

Pour la terre du Liebfrauenberg, de .	4 fr.	40 c.	à	1 fr.	90 c.
Pour la terre de Merckwiller, de	3	75	à	3	20
Pour la terre du Quesnoy, de.......	12	50	à	11	55

La chaux a donc nécessairement une autre utilité que celle de développer de l'ammoniaque en agissant sur les matières azotées, soit qu'elle ajoute dans le sol l'élément calcaire dont il manquait, soit qu'elle rende libre la potasse des silicates, ou qu'elle modifie avantageusement pour la végétation les propriétés physiques des terrains argileux.

Le chaulage à doses faibles, fréquemment répétées, a un tout autre caractère; la chaux qu'il apporte aux quatre millions de kilogrammes de terre d'un hectare est véritablement une quantité insignifiante, mais l'ammoniaque qu'il développe revient à un prix assez modéré pour faire croire que l'opération est avantageuse sous le rapport de la production de cet alcali.

La chaux donnée annuellement à raison de 12 quintaux par hectare produirait, d'après mes expériences :

Dans la terre du Liebfrauenberg,	48 kil. d'ammoniaque	à 35 c. le kilogramme[1].	
Dans la terre de Merckwiller,	28 id.	à 65 id.	

Ces chiffres semblent donc justifier la pratique du saupoudrage que, dans certaines contrées, l'on exécute après les labours au moment des semailles; car alors, sous le rapport de l'ammoniaque formée par ce faible chaulage, c'est comme si l'on eût répandu sur le sol 3 à 4 quintaux de guano.

L'ammoniaque, sans doute, est formée, dans cette circonstance, aux dépens des matières organiques déjà contenues dans la terre arable; elle n'est donc pas *introduite*, mais développée presque instantanément, et, dans tous les cas, beaucoup plus rapidement qu'elle ne l'aurait été sous l'influence de l'humidité et de l'atmosphère. La chaux change un engrais latent en un engrais actif.

ACTION DE LA CHAUX SUR LA TOURBE.

La chaux à très-hautes doses produit d'excellents effets dans les terrains tourbeux bien égouttés, et la terre végétale renferme toujours des matières organisées brunes, azotées, analogues à la tourbe; j'ai cru, en conséquence, devoir étudier l'action de la chaux sur ce combustible.

La tourbe sur laquelle on a opéré est d'un brun foncé, compacte. On l'extrait dans les environs de Paris.

L'analyse a indiqué dans un kilogramme :

Eau	167 grammes.
Substances minérales	103
Azote	22
Ammoniaque toute formée	0.180
Acide nitrique	0

Vingt et unième expérience. — 1 kilogramme de tourbe en poudre a reçu 100 grammes de chaux. Humecté avec 400 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil confiné du 18 février au 24 mars 1860.

1. Dans les localités où la chaux ne revient au cultivateur qui la prépare lui-même qu'à 0 fr. 70 c. le quintal, les prix de revient du kilogramme d'ammoniaque développée seraient encore moins élevés.

Dosé :	Ammoniaque	0g.317
	Avant le chaulage	0 .180
	En un mois, différence :	+ 0 .137

Vingt-deuxième expérience. — 1 kilogramme de tourbe en poudre a reçu 100 grammes de chaux. Humecté avec 400 centimètres cubes d'eau, le mélange est resté dans l'appareil du 18 février au 20 mai 1860.

Dosé :	Ammoniaque	0g.304
	Avant le chaulage	0 .180
	En 3 mois, différence :	+ 0 .124

On a trouvé 0,013 d'ammoniaque de moins que dans l'expérience vingt et unième.

Vingt-troisième expérience. — On a diminué la compacité de la tourbe humectée en introduisant du sable quartzeux calciné et une plus forte proportion de chaux : 1 kilogramme de tourbe en poudre et 4 kilogrammes de sable ont reçu 400 grammes de chaux. Humecté avec 1lit.6 d'eau pure, le mélange est resté dans l'appareil du 7 avril au 6 mai 1861.

Dosé :	Ammoniaque	0g.512
	Avant le chaulage	0 180
	En 3 mois, différence :	+ 0 .332

La chaux en agissant, à la température ordinaire, sur la tourbe dans laquelle il entre cependant plus de 2 pour 100 d'azote appartenant à de la matière organique, ne développe pas autant d'ammoniaque que dans la terre végétale si l'on prend pour base de la production l'azote des substances organiques. Pour 100 de chaux, on a obtenu 0,1 d'alcali volatil; l'ammoniaque reviendrait évidemment à un prix trop élevé.

L'ensemble de ces recherches établit que le chaulage provoque, dans la terre végétale, la formation d'une quantité d'ammoniaque assez limitée, si l'on a égard à la teneur en matières azotées, et une formation bien plus limitée encore d'acide nitrique, à tel point que, contre toute prévision, on arriverait à conclure que la chaux serait défavorable à la nitrification du sol, du moins tant qu'elle conserve sa causticité, ses propriétés fortement alcalines.

Une série d'expériences entreprises en 1859 confirme ce fait

fort curieux en même temps qu'elle montre que, dans un sol riche en humus, les effets attribuables à la chaux, dont la cause réside incontestablement dans les éléments organiques de la terre, se manifestent à la longue par la seule action de l'air et de l'humidité, en un mot, par la jachère.

Dans cette série d'expériences, je m'étais proposé d'examiner comparativement comment agiraient : 1° la chaux; 2° la marne; 3° le carbonate de potasse représentant le principe alcalin des cendres végétales; 4° le sable ayant pour unique objet de favoriser l'accès de l'air dans le sol.

La manière d'opérer n'a différé en rien de celle que j'ai décrite. L'alcali ou le calcaire, à la fin d'une expérience, était sursaturé par de l'acide sulfurique pur, puis l'on dégageait l'ammoniaque par de la magnésie exempte de potasse. La seule différence a été la durée des observations. La terre du Liebfrauenberg, convenablement humectée et associée aux diverses substances, est restée pendant huit mois dans une atmosphère confinée. Du 23 janvier jusqu'au 27 mai, les appareils étaient placés dans une chambre dont la température n'est jamais descendue au-dessous de 8 degrés, et, à partir du 27 mai, on les a exposés en plein midi dans un jardin, jusqu'au 8 septembre.

La terre avait été prise dans le potager en 1858, séchée à l'air et conservée dans des vases fermés. On constata, par l'analyse, dans un kilogramme :

Ammoniaque toute formée..................	0g.011
Acide nitrique constituant des nitrates..........	0 .093
Azote appartenant à des matières organiques....	2 .093
Carbone appartenant à des matières organiques.	24 .000[1]

Vingt-quatrième expérience. Terre mélangée à du sable. — 1 kilogramme de terre a été mêlé à 850 grammes de sable quartzeux lavé et calciné. Humecté avec 300 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'atmosphère confinée du 23 janvier au 18 septembre 1859. Une végétation cryptogamique verdissait les parois du ballon.

Dosé : Ammoniaque.......	0g.023	Acide nitrique.....	0g.575
Le 23 janvier, il y avait..	0 .011		0 .093
En 8 mois, différence :	+ 0 .012		+ 0 .482

1. Le carbone n'a pas été déterminé, on a pris la proportion trouvée antérieurement.

Dans la terre divisée par du sable, il ne s'est formé que 0g.012 d'ammoniaque dans l'espace de 8 mois, et 0g.482 d'acide nitrique équivalant à 0g.903 de salpêtre ou à 0g.152 d'ammoniaque. L'azote assimilable développé durant cette observation est donc exprimé par 0g.164 d'ammoniaque.

Toutes les expériences que j'ai faites en 1858 et 1859, sur la nitrification pendant la jachère, établissent que le maximum d'acide nitrique est obtenu dans un temps beaucoup plus court. Je reproduirai ici, en la rapportant à 1 kilogramme de la terre du Liebfrauenberg, une des observations.

Vingt-cinquième expérience. Terre mélangée à du sable. — 1 kilogramme de terre a été mêlé à 5k.5 de sable quartzeux lavé et calciné. Humecté avec 846 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'atmosphère confinée du 30 mai au 14 septembre 1859.

Dosé : Ammoniaque.......	0g.057	Acide nitrique.....	0g.548
Le 30 mai, il y avait....	0 .022		0 .003[1]
En 3 mois, différence :	+ 0. 035		+ 0 .545

Dans la terre divisée par du sable, il y a eu de formé, en trois mois, 0g.035 d'ammoniaque, et 0g.545 d'acide nitrique équivalant à 1g.021 de salpêtre ou à 0g.172 d'ammoniaque.

L'azote assimilable développé durant cette circonstance est exprimé par 0g.207 d'ammoniaque.

Vingt-sixième expérience. Terre marnée. — 1 kilogramme de terre a été mêlé à 500 grammes d'une marne blanche. Humecté avec 300 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'atmosphère confinée du 22 janvier au 18 septembre 1859. Il est apparu quelques cryptogames sur les parois du ballon.

Dosé : Ammoniaque.......	0g.013	Acide nitrique.....	0g.453
Le 23 janvier, il y avait..	0 .011		0 .093
En 8 mois, différence :	+ 0 .002		+ 0 .360

1. La terre du Liebfrauenberg, objet de cette observation, avait été prise en 1858. Elle contenait par kilogramme :

Ammoniaque toute formée....................	0g.022
Acide nitrique..............................	0 .003
Acide phosphorique	3 .021
Chaux................	5 .520
Carbone appartenant à des matières organiques.....	24 .300

La marne n'a pas favorisé la production de l'ammoniaque, et il n'y a pas eu autant d'acide nitrique de formé que par l'influence du sable.

0g.360 d'acide nitrique représente 0g.674 de salpêtre ou 0g.113 d'ammoniaque.

L'azote assimilable acquis par la terre dans cette expérience est exprimé par 0g.115 d'ammoniaque.

Vingt-septième expérience. Terre traitée par le carbonate de potasse. — 1 kilogramme de terre a reçu 2 grammes de carbonate de potasse. Humecté avec 210 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'atmosphère confinée du 23 janvier au 18 septembre 1859. Matière verte sur les parois du ballon.

Dosé : Ammoniaque	0g.026	Acide nitrique.....	0g.383
Le 23 janvier, il y avait..	0 .011		0 .093
En 8 mois, différence :	+0 .015		+0 .290

L'addition du carbonate de potasse n'a pas été plus favorable que celle de la marne; plus d'ammoniaque et moins d'acide nitrique développés.

0g.29 d'acide nitrique représente 0g.543 de salpêtre.

L'azote assimilable acquis par la terre, dans cette expérience, est exprimé par 0g.103 d'ammoniaque.

Vingt-huitième expérience. Terre fortement chaulée. — 1 kilogramme de terre a reçu 200 grammes de chaux. Humecté avec 430 centimètres cubes d'eau pure, le mélange est resté dans l'atmosphère confinée du 23 janvier au 18 septembre 1859. La terre ne portait pas de végétation cryptogamique; elle avait une odeur légèrement ammoniacale.

Dosé : Ammoniaque	0g.314	Acide nitrique.....	0g.192
Le 23 janvier, il y avait.	0 .011		0 .093
En 8 mois, différence :	+0 .303		+0 .099

La chaux a produit beaucoup plus d'ammoniaque et moins d'acide nitrique que le sable, la marne et le carbonate de potasse.

0g.099 d'acide nitrique représente 0g.185 de salpêtre ou 0g.031 d'ammoniaque.

L'azote assimilable acquis par la terre, dans cette expérience, est exprimé par 0g.334 d'ammoniaque.

100 de chaux ont développé 0g.167 d'ammoniaque qui reviendrait à 8f.90 le kilogramme, si la chaux ajoutée au sol avait uniquement pour effet de produire l'alcali volatil.

Résumé.

MATIÈRES AJOUTÉES à 1 kilogramme de terre.		AMMONIAQUE formée.	ACIDE NITRIQUE formé.	AZOTE assimilable acquis exprimé en ammoniaque.
	gr.	gr	gr.	gr.
I. Sable....	850	0.012	0.482	0.164
II. Sable....	5500	0.035	0.545	0.207
III. Marne....	500	0.002	0.360	0.115
IV. Potasse ..	2	0.015	0.290	0.103
V. Chaux ...	200	0.303	0.099	0.167

Il est remarquable que la chaux à très-haute dose n'ait pas développé dans la terre du Liebfrauenberg plus d'azote assimilable que la jachère; dans le premier cas, cet azote s'est révélé à l'état de nitrate; dans le second cas, à l'état d'ammoniaque; et cette série d'expériences fournit une nouvelle preuve de l'obstacle que la chaux caustique semble apporter à la nitrification de la terre végétale.

Il est, je crois, permis de conclure que le chaulage tel qu'il est pratiqué généralement ne saurait avoir pour effet unique la transformation en ammoniaque et en acide nitrique de l'azote engagé, en combinaisons stables, dans les débris organiques disséminés dans la terre arable. Sans doute, cette transformation a lieu, son utilité est incontestable, puisqu'elle apporte des éléments de fertilité; mais elle n'est aucunement en rapport avec les fortes quantités de chaux que l'on fait intervenir, le poids de l'azote assimilable engendré sous cette influence n'étant pas même le millième de celui de la terre alcaline. La chaux, dans un chaulage à hautes doses, doit donc avoir pour effets principaux : 1° d'introduire l'élément calcaire sous une forme favorable à la végétation dans les terrains qui, en raison de leur origine, en sont dépourvus ou qui ne le contiennent pas en proportions suffisantes, et en y introduisant aussi des phosphates en notables quantités; puisque, comme M Dehérain l'a reconnu,

il est des pierres calcaires dans lesquelles le phosphate de chaux entre pour une notable proportion; 2° de dégager la potasse et la soude des détritus feldspathiques qui les recèlent; 3° de diminuer la plasticité des terres argileuses en réagissant sur le silicate d'alumine, pour former du silicate de chaux modifiable par l'acide carbonique, qui en élimine de la silice douée alors d'une certaine solubilité et par cela même assimilable, réaction que le marnage ne déterminerait pas; 4° de décomposer les sulfates de fer, d'alumine, de magnésie que renferment les argiles pyriteuses des terres fortes en les changeant en sulfate de chaux, c'est-à-dire en substituant un sel utile à des sels nuisibles à la végétation.

Dans le chaulage à faible dose, nous avons reconnu que 100 kilogrammes de chaux développent immédiatement de 2 à 4 kilogrammes d'ammoniaque; eu égard à la valeur de l'amendement, c'est de l'azote assimilable à un prix peu élevé. Dans ces limites, le chaulage peut avoir pour objet la transformation d'une fraction de l'azote des combinaisons stables du sol en ammoniaque; c'est vraisemblablement ce que réalise le cultivateur en saupoudrant avec de la chaux éteinte, soit après un labour, soit après une coupe de fourrage. C'est exactement comme s'il répandait sur le sol un sel ammoniacal, car il fait naître instantanément de l'ammoniaque là où il n'en existait pas, et cela aux dépens d'une matière qui en possédait bien les éléments, mais qui ne l'aurait produite que beaucoup plus lentement; et un fait très-intéressant pour la pratique agricole que ces expériences mettent en évidence, c'est que le chaulage n'opère cette transformation que sur une fraction bien minime de l'azote engagé dans les substances organiques du sol. L'on peut s'en assurer en comparant la teneur en azote de la terre soumise à l'action de la chaux, à l'ammoniaque développée.

DÉSIGNATION DES TERRES.	AZOTE dans 1 kil. de terre.	CHAUX introduite.	AMMONIAQUE formée.	AMMONIAQUE formée pour 100 d'azote de la terre.	DURÉE de l'expérience.	NUMÉROS D'ORDRE des expériences.
	gr.	gr.	gr.			
Liebfrauenberg...	2.093	0.3	0.012	0.57	6 jours.	1
»	»	2.0	0.007	0.33	10 jours.	2
»	»	10.0	0.034	1.63	2 jours.	3
»	»	10.0	0.076	3.63	1 mois.	4
»	»	10.0	0.079	3.78	2 mois.	5
»	»	200.0	0.303	14.48	8 mois.	28
Merckwiller	1.400	0.3	0.007	0.50	6 jours.	8
»	»	2 0	0.010	0.71	10 jours	9
»	»	10.0	0.046	3.28	1 mois.	10
»	»	10.0	0.036	2.57	2 mois.	11
»	»	10.0	0.030	2.14	16 jours.	17
Quesnoy........	0.874	10.0	0.018	2.06	14 jours.	14
»	»	10.0	0.020	2.29	1 mois.	15
»	»	10.0	0.025	2.86	15 jours.	19
Tourbe..........	22.000	100.0	0.137	0 62	1 mois.	21
»	»	100.0	0.127	0.58	3 mois.	22
»	»	400.0	0.332	1.51	3 mois.	23

En moyenne, 100 de l'azote appartenant aux substances organiques, disséminées dans la terre végétale, ont donné en ammoniaque :

Par le chaulage à faible dose.................	0.53
Par le chaulage à haute dose..................	2.83
Par le chaulage à dose extraordinaire...........	14.48

Le mélange de 1 kilogramme de la terre de Liebfrauenberg, avec 200 grammes de chaux (expérience 28e), ne saurait être considéré comme un chaulage, puisqu'il représenterait une incorporation de 8,000 quintaux de chaux par hectare; opération impraticable; c'est un *compost*. La même remarque est applicable à la tourbe, dont l'azote constitutionnel, malgré la forte proportion de chaux ajoutée, n'a pas même donné un centième d'ammoniaque.

Cette résistance de l'humus, des acides bruns, des débris organiques à l'action de la chaux, doit rassurer sur ce qu'on appelle dogmatiquement l'abus du chaulage, ayant pour conséquence future l'appauvrissement de la fertilité du sol. *La chaux enrichit le père et ruine les enfants;* le dicton, pour être vrai, aurait dû dire : *les enfants d'un père prodigue*. Ces opi-

nions sont fondées sur des théories aussi prétentieuses qu'erronées. Le chaulage bien appliqué a produit partout où il était nécessaire de merveilleux résultats; son effet a pu être nul ou insuffisamment rémunérateur dans certaines contrées, mais il n'a jamais ruiné le cultivateur qui l'a pratiqué judicieusement et avec opportunité. Sans doute, il y a eu abus du chaulage toutes les fois qu'on l'a effectué, sans le concours des engrais, sur des terres arables de constitution normale; il a dû s'ensuivre un appauvrissement, parce que si la chaux, indépendamment de l'action qu'elle exerce sur les principes minéraux, possède la faculté d'agir sur les matières organiques du sol en en faisant ressortir de l'azote assimilable, elle ne les remplace pas. La chaux seule suffira donc comme amendement, du moins pendant de longues années, en raison de la lenteur de son action, sur des terres riches en humus, comme dans une ancienne prairie retournée, sur un défrichement; mais dans les terres ordinaires, son application doit être accompagnée de fumures d'autant plus fortes qu'elle occasionne des récoltes plus abondantes. Ainsi, dans la culture faite en terre normale, le chaulage ne dispense pas du fumier dont il accélère l'action fertilisante au plus grand profit du cultivateur. Quand par des circonstances dépendantes de la nature du terrrain, du prix peu élévé de la chaux, de la possibilité de se procurer des engrais, l'on fait parallèlement de forts chaulages et de fortes fumures, on atteint, pour un climat donné, le maximum des récoltes de cette agriculture intensive, toujours la plus lucrative, malgré l'importance du capital engagé.

ÉTUDES SUR LA VENTILATION.

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

1. *Expériences sur les ventilateurs.* — L'un des moyens que l'on emploie le plus souvent lorsque l'on veut activer des feux de forge, enlever des poussières, aérer des mines, etc., consiste dans l'usage d'appareils nommés ventilateurs, et dans ces dernières années l'on en a beaucoup préconisé l'emploi comme un moyen énergique et certain de produire l'assainissement des lieux habités. Il en existe de bien des formes différentes. Sans me proposer de les étudier toutes, je me suis occupé d'en soumettre quelques-uns à des expériences qui me permissent d'en apprécier et d'en comparer les effets, afin de reconnaître directement si ceux que l'on avait présentés comme d'un effet supérieur à tous les autres jouissaient effectivement de la supériorité qu'on leur attribuait.

2. *Description générale.* — Deux types principaux sont en usage : l'un se compose d'un arbre, ordinairement horizontal, sur lequel est fixée une sorte de roue à palettes ou volant, portant habituellement six à huit ailes ou palettes planes ou courbes.

Ce volant est entouré par une enveloppe annulaire, qui est ouverte vers son centre, pour permettre l'introduction de l'air aspiré. Lorsque le ventilateur doit refouler l'air dans des conduits, l'enveloppe est fermée aussi sur toute sa circonférence, excepté dans la partie où pénètre le conduit de refoulement. Dans les ventilateurs de ce genre, le centre de figure de l'enveloppe ne coïncide pas avec l'axe de rotation, et l'on dit que le ventilateur est excentré.

S'il s'agit, au contraire, d'aspirer de l'air par l'œil central du ventilateur et de le rejeter au dehors, l'enveloppe est ouverte sur son pourtour extérieur et l'air s'échappe librement sous l'action de la force centrifuge.

Dans ce dernier cas, il arrive souvent que les ailettes sont assemblées avec les couronnes annulaires et font corps avec elles.

Il en est quelquefois de même pour les ventilateurs insufflants, et alors le volant, ainsi formé, est renfermé dans une enveloppe fixe et excentrée qui communique avec le tuyau de refoulement.

Tels sont les deux modèles de ventilateurs de M. Lloyd, qui les a ainsi construits dans l'intention de diminuer ou même de faire disparaître le bruit incommode que font les ventilateurs ordinaires.

L'autre type est celui des ventilateurs à hélices, dont les ailes, formées de surfaces héliçoïdes plus ou moins régulières, continues ou discontinues, présentant une seule ou plusieurs spires, sont renfermées dans une enveloppe cylindrique fixe, et servent à aspirer ou à refouler l'air dans des conduits, selon le sens du mouvement de rotation qu'on leur donne.

Sans entrer pour le moment dans aucune discussion théorique sur les phénomènes qui se produisent dans le mouvement de ces appareils, je me propose seulement dans cette note de faire connaître et de discuter les résultats des expériences qui ont été récemment exécutées, sous ma direction, au Conservatoire des arts et métiers, en les rapportant par ordre de dates.

3. *Ventilateurs à hélices.* — Nous avons soumis à l'expérience deux ventilateurs de ce genre, l'un de $0^m,480$ de diamètre extérieur sur $0^m,700$ de longueur, et renfermé dans un cylindre de $0^m,500$ de diamètre. Il sort des ateliers de M. L. Duvoir et a été construit par M. Guérin, ingénieur. Ce ventilateur se compose de deux demi-spires, ayant chacune sept palettes planes en forme de trapèze, inclinées à 38° sur le plan de rotation, et dirigées, selon le plan tangent, à la surface héliçoïde, qui serait formée par l'axe des bras qui les supportent.

Le second ventilateur que nous avons employé avait les dimensions suivantes :

Diamètre de l'hélice, $0^m,985$;

Diamètre du cylindre-enveloppe, $1^m,00$;

Longueur des hélices dans le sens de l'axe, $1^m,00$;

Pas des hélices, $0^m,50$.

4. *Expériences sur le ventilateur à hélices de M. Guérin.* — Ce ventilateur pouvant, selon le sens de sa marche, servir pour l'aspiration comme pour l'insufflation, nous l'avons essayé dans les

deux cas. Son enveloppe était raccordée par une partie tronconique avec un tuyau cylindrique en tôle de $0^m,30$ de diamètre, ayant par conséquent une section transversale de $0^{mq},07$.

Ce tuyau a eu dans les expériences la longueur de $28^m,50$, et l'on y observait la vitesse moyenne de l'air, en différents endroits de sa longueur, à l'aide d'un anémomètre à pointage[1].

Lorsque le ventilateur fonctionnait par insufflation, il a été nécessaire de placer l'instrument en divers points de sa longueur et à son extrémité, afin de reconnaître les effets du mouvement de rotation possédé par l'air à sa sortie des hélices et qui, comme on le verra, exerce jusqu'à une distance considérable une grande influence. A l'extrémité du tuyau, les filets fluides sortant parallèlement, le volume d'air écoulé se déduisait facilement des indications de l'anémomètre.



Fig. 1.

Quand, à l'inverse, l'on opérait par aspiration, les filets fluides marchaient à très-peu près parallèlement dans toute l'étendue du tuyau, et l'emplacement choisi pour l'anémomètre sur la longueur du tuyau était ou devait être indifférent; c'est ce que l'expérience a confirmé. Mais à son entrée, l'air y éprouvait comme tous les fluides une contraction sensible dont il était nécessaire de tenir compte et dont l'influence dépendait, comme on le verra

1. Voir au n° 351 des *Notions fondamentales de mécanique pratique*.

par la suite, de la position que l'on donnait à l'instrument dans la veine fluide.

Il a donc été nécessaire de faire quelques expériences préalables, dans chaque cas semblable, pour déterminer la valeur du coefficient de contraction à appliquer pour que le résultat des observations faites à l'entrée du tuyau concordât avec celles qui étaient obtenues en d'autres endroits de sa longueur. Nous indiquerons plus loin la marche suivie pour tenir compte de ces effets.

5. *Expériences sur le ventilateur agissant par aspiration.* — Ainsi que nous venons de le dire, l'on a déterminé dans ces expériences la vitesse de l'air en différents points de la longueur du tuyau et à son extrémité, au moyen d'un anémomètre à pointage. La tare de cet instrument avait donné la formule

$$V = 0^{m},47 + 0,0528\,N.$$

Outre les expériences à l'aide desquelles l'on a déterminé les volumes d'air aspirés, l'on en a aussi fait d'autres dans la principale série pour connaître la quantité de travail moteur nécessaire pour faire marcher l'instrument aux différentes vitesses et pour en obtenir un volume d'air donné.

Les résultats immédiats des observations et ceux que l'on en déduit par le calcul sont consignés dans le tableau suivant :

Expériences sur un ventilateur à hélices construit par M. Guérin. — Le ventilateur agit par aspiration.

Numéros des séries des expériences.		NOMBRE DE TOURS du ventilateur en 1'.	NOMBRE DE TOURS de l'anémomètre en 1'.	NOMBRE DE TOURS de l'anémomètre en 1''.	VITESSE de l'air en 1''.	VOLUME D'AIR ASPIRÉ déduit de l'observation sans contraction en 1'.	VOLUME D'AIR ASPIRÉ avec correction pour la contraction en 1''.	NOMBRE de tours du dynamomètre en 1'.	VITESSE à la circonférence du dynamomètre en 1''.	EFFORT MOYEN.	TRAVAIL moteur en 1''.	EFFET utile ou moitié de la force vive imprimée en 1''.	RENDEMENT DU VENTILATEUR.	OBSERVATIONS.
					m.	m.c.	m.c.		m.	k.	km.	km.		
1	1	108	1160	19.0	1.47	0.1029	0.0823	30.88	1.12	«	«	0.0147	«	L'anémomètre était placé à 28m.40 de l'hélice, c'est-à-dire à 0m.10 dans son intérieur à partir de l'extrémité. — Pour tenir compte de la contraction l'on a fait $m = 0.80$.
	2	180	2330	38.8	2.50	0.1750	0.1405	51.30	1.87	«	«	0.0725	«	
	3	250	3332	55.7	3.40	0.2380	0.1901	71.45	2.62	2.21	5.79	0.1803	0.0315	
	4	370	4770	79.5	4.66	0.3262	0.2609	105.65	3.87	2.48	9.59	0.4694	0.0489	
	5	435	6340	105.6	6.01	0.4228	0.3282	126.[illegible]5	4.55	3.41	15.65	1.0220	0.0638	
	6	550	7695	128.2	7.23	0.5061	0.4048	156.95	5.74	4.03	23.13	1.7530	0.0758	
	7	715	10300	171.6	9.53	0.6671	0.5336	203.25	7.43	5.52	41.01	3.5300	0.0861	
	8	822	11200	186.6	10.32	0.7224	0.5770	234.7[illegible]	8.60	6.57	56.50	5.0970	0.0902	
2	1	425	4717	78.6	4.62	0.3234								L'anémomètre était placé à 1m.25 de l'hélice dans le tuyau.
	2	560	6420	107.0	6.11	0.4277								
	3	680	7800	130.0	7.30	0.5110								
	4	755	8010	133.5	7.51	0.5257								
3	1	460	6090	10.15	5.82	0.4074								L'anémomètre était placé à 4m.25 de l'hélice.
	2	590	6550	10.9	6.23	0.4361								
	3	670	7550	12.6	7.12	0.4984								
	4	780	8850	14.7	8.26	0.5782								
4	1	547	5700	9.5	5.48	0.3836								L'anémomètre était placé à 14m.25 de l'hélice.
	2	695	7750	12.9	7.28	0.5096								
	3	365	3820	6.4	3.82	0.2674								
5	1	400	4500	7.5	4.43	0.3101								L'anémomètre était placé à 4m.25 de l'hélice.
	2	760	8250	13.7	7.70	0.5390								
6	1	270	2780	4.6	2.93	0.2051								L'anémomètre était placé à 14m.25 de l'hélice.
	2	425	4645	7.7	4.55	0.3185								
	3	765	8120	13.5	7.63	0.5341								

6. *Représentation graphique et discussion des résultats consignés dans les tableaux précédents.* — Pour pouvoir apprécier l'ensemble des résultats de ces expériences, nous les avons représentés graphiquement en prenant pour abscisses les nombres de tours du ventilateur en 1', et pour ordonnées les volumes d'air aspirés en 1''. La première série nous a ainsi fourni tous les points marqués sur la figure dont les ordonnées sont les volumes correspondants

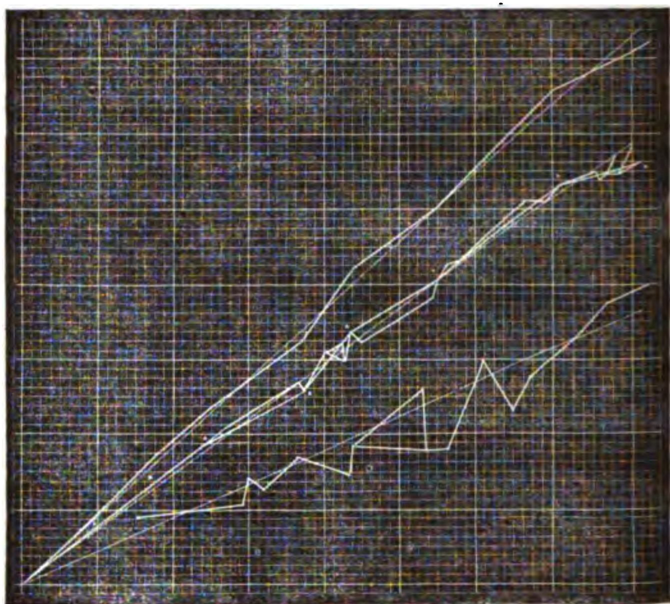


Fig. 2.

au produit de l'aire A= 0mq,07 de section du tuyau par la vitesse de passage à travers la section contractée de la veine fluide accusée par l'instrument qui, pour cette série, était placé à 0m,10 de l'entrée dans l'intérieur du tuyau. Ces volumes doivent donc être corrigés par l'application d'un coefficient de contraction qu'il s'agit de déterminer.

Le lieu de tous les points ainsi déterminés est une ligne droite passant par l'origine des coordonnées, ce qui montre déjà que les volumes d'air aspirés sont proportionnels aux nombres de tours du ventilateur.

Tous les points fournis par les autres séries d'expériences dans lesquelles l'anémomètre avait été placé à l'intérieur du tuyau à des distances différentes de l'hélice, qui ont été successivement de $1^m,25$, $4^m,25$ et $14^m,25$, sont indiqués sur la figure, et l'on voit que le lieu de ces points est une ligne droite passant par l'origine des coordonnées; ce qui prouve encore que les volumes d'air aspirés sont proportionnels aux nombres de tours du ventilateur.

La direction de cette ligne, indiquant que pour 800 tours du ventilateur en $1'$ le volume d'air aspiré en $1''$ est moyennement égal à $0^{mc},585$, il s'ensuit que le volume d'air Q correspondant à un nombre N de tours du ventilateur en $1'$ peut être déterminé par la proportion

$$800^t : 0^{mc},585 : : N : Q, \text{ d'où } Q = \frac{0,585}{800} N = 0^{mc},000,731 \text{ N en } 1''.$$

Si l'on rapportait le volume d'air à la minute comme les nombres de tours, on aurait

$$Q = 0^{mc},04386 \text{ N}.$$

La ligne droite, qui est le lieu des points correspondants aux volumes déduits des observations de la première série, sans tenir compte de la contraction, indique que pour le nombre de 800 tours en $1'$ le volume correspondant serait $0^{mc},730$, tandis que le volume réel n'est, comme on vient de le dire, que de $0^{mc},585$. Par conséquent, pour que les observations de la première série fournissent les mêmes volumes pour l'air aspiré, ce qui doit être évidemment, il faut réduire les volumes calculés, abstraction faite de la contration ou les ordonnées de la première série, dans le rapport de $0^{mc},585$ à $0^{mc},730$ ou de 1,00 à 0,80; ce qui montre que pour la position où avait été placé l'anémomètre dans cette série, le coefficient de la contraction avait pour valeur $m = 0,80$.

Je dis *pour la position où avait été placé l'anémomètre*, parce que l'on verra plus loin, à l'occasion d'expériences analogues sur un autre ventilateur, mais avec le même tuyau, que cette position a une influence très-notable sur la valeur de ce coefficient, attendu que nous ne savons pas au juste quelle est dans ce cas la distance à laquelle se trouve la plus grande contraction de la veine fluide.

En réduisant, comme nous venons de le dire, aux 0,80 de leur première valeur calculée les volumes d'air déduits de la première série ou les ordonnées correspondantes sur la figure, on reconnaît que tous les points ainsi déterminés se placent dans le même lieu géométrique ou à peu près sur la même ligne droite que ceux de toutes les autres séries.

Il en résulte donc

1° que l'ensemble des résultats de toutes ces expériences au nombre de 24, et dans lesquelles le nombre de tours du ventilateur en 1' a varié de 108 à 822, peut être exprimé par la formule :

$$Q = 0^{mc},000731\ N,$$

si le volume Q est rapporté à la seconde, ou

$$Q = 0^{mc},04386\ N$$

s'il est rapporté à la minute comme celui N des tours du ventilateur.

2° Que quand le ventilateur fonctionne en aspirant, il ne produit pas de mouvement notable de tourbillonnement, et que la vitesse moyenne de l'air mesurée dans l'axe du tuyau est sensiblement la même à toute distance de l'hélice.

3° Que quand l'anémomètre est placé à $0^m,10$ de l'entrée du tuyau à son intérieur, ce qui dans le cas actuel correspondait au tiers de son diamètre, le coefficient de la contraction à employer est $m = 0,80$.

7. *Observation sur l'influence de la disposition des joints.* — Dans les quatre premières séries d'expériences, les joints des tuyaux avaient été laissés libres, tels qu'ils existent ordinairement dans l'assemblage des parties qui composent de semblables tuyaux.

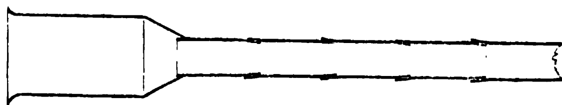


Fig. 3.

Pour les trois premières, l'assemblage était disposé, comme l'indique la figure, par rapport au sens du mouvement de l'air.

de sorte qu'en vertu de leur vitesse acquise quelques filets fluides pouvaient sortir par ces joints; ce que l'on a en effet constaté à l'aide de la flamme d'une bougie par les joints qui offraient les plus grandes ouvertures.

Dans la quatrième série, l'on a changé le sens de l'assemblage et on l'a disposé comme il est indiqué ci-contre. L'on a alors

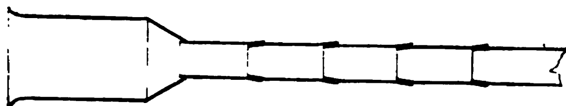


Fig. 4.

constaté qu'il se faisait par les joints des rentrées d'air, à proportion bien plus sensibles que dans le premier cas; ce qui tient évidemment à ce qu'en vertu de la vitesse de l'air dans le tuyau la pression y est, comme on sait, notablement moindre qu'à l'extérieur.

Les ouvertures des joints étant d'ailleurs très-petites, ces sorties et ces rentrées assez faibles n'ont pas eu d'influence sensible sur la grandeur du volume d'air aspiré; car les résultats de ces quatre premières séries concordent, autant qu'on peut l'observer, dans de pareilles recherches avec ceux des cinquième et sixième séries pour lesquelles les joints avaient été calfeutrés et recouverts de papier collé avec du goudron.

Mais il n'en est pas moins bien constaté que dans l'aspiration, quand les joints sont convenablement disposés, il tend à se faire des rentrées d'air.

8. *Expériences sur le ventilateur de M. Guérin auquel on avait enlevé la moitié de ses palettes, fonctionnant par aspiration.* — Pour reconnaître l'influence du nombre des palettes et nous assurer s'il y avait avantage ou inconvénient à les conserver toutes, de manière à former une surface à peu près continue, nous avons fait enlever la moitié des palettes au même ventilateur et nous avons répété une partie des expériences précédentes sur les volumes d'air aspirés.

Les résultats de ces observations sont consignés dans le tableau suivant :

NUMÉROS des Expériences.	NOMBRE DE TOURS			VITESSE de l'air en 1".	VOLUME D'AIR ASPIRÉ	
	du ventilateur en 1'.	de l'anémomètre			déduit de l'observation sans contraction en 1".	avec corrections pour la contraction $m = 0.80$ en 1".
		en 1'.	en 1".			
				m.	mc.	mc.
1	257	3000	50.00	3.11	0.2177	0.1742
2	335	4010	66.83	4.00	0.2800	0.2240
3	450	5244	87.40	5.08	0.3556	0.2845
4	550	6850	114.17	6.50	0.4550	0.3640
5	620	7900	131.67	7.42	0.5094	0.4076

La représentation graphique de ces résultats aux mêmes échelles que pour les séries précédentes montre encore que le volume d'air aspiré est proportionné au nombre de tours du ventilateur, et que tous les points, ainsi déterminés, ont pour lieu géométrique une ligne droite dont l'inclinaison fournit la relation

$$Q = 0^{mc},000655\,N \text{ en } 1'' \text{ ou}$$
$$Q = 0^{mc},0393\,N \text{ en } 1'.$$

Le coefficient numérique de cette formule n'étant que 0,000655, tandis qu'il était 0,000731 quand le ventilateur était muni de toutes ses ailettes, il en résulte que la suppression d'un certain nombre de ces ailettes diminue le volume d'air aspiré; ce qui, d'ailleurs, est facile à comprendre par suite des effets que produit la force centrifuge, dont nous parlerons plus loin.

9. *Expériences sur le grand ventilateur à hélices agissant par aspiration.* — Des expériences analogues à celles que nous venons de discuter ont été exécutées le 10 avril 1860 sur le grand ventilateurs à hélices dont nous avons donné la description au n° 3. Les résultats en sont consignés dans le tableau suivant :

Expériences sur le grand ventilateur à hélices agissant par aspiration.

Numéros des Expériences.	NOMBRE DE TOURS du ventilateur en 1'.	NOMBRE DE TOURS de l'anémomètre en 1'.	NOMBRE DE TOURS de l'anémomètre en 1".	VITESSE DE L'AIR en 1".	VOLUME D'AIR ASPIRÉ avec correction pour la contraction $m = 0.80$.	NOMBRE DE TOURS du dynamomètre en 1'.	Vitesse de la circonférence du dynamomètre en 1".	EFFORT MOYEN.	TRAVAIL MOTEUR en 1".	EFFET UTILE ou moitié de la force vive imprimée en 1".	RENDEMENT du ventilateur.
				m.	mc.		m.	k.	km.	m.	
1	153.3	843.3	14.05	1.211	0.738	45.0	1.648	3.729	6.172	0.0719	0.0117
2	211 6	1460 0	24 33	1.750	1 066	61.1	2.337	4.000	9.348	0.2165	0.0230
3	248.0	1985.0	33.08	2.216	1 350	79.0	2.893	4 475	12.918	0.4396	0.0333
4	300.0	2322.5	38.71	2.513	1 531	88.5	3 242	5 304	17.184	0 6412	0.0373
5	373.0	2780.0	46 33	2.916	1.777	119.2	4.367	6.210	27.134	1.0017	0.0369
6	450.0	3370.0	56.16	3.435	2.093	132.0	4 835	8 000	38.640	1.6374	0.0424
7	510 0	3960 0	66.00	3 955	2.410	142.0	5.200	8.663	45.032	2.4993	0.0555
8	558.0	4490.0	74 83	4.421	2 694	163.0	5.970	11.105	66.296	3.4829	0.0525
9	625.0	5040.0	84.00	4.905	2.989	184.0	6.740	13.121	88.435	4.7676	0.0539

OBSERVATION. — A = 0m.7618.

10. ***Représentation graphique et discussion des résultats précédents.*** — En représentant les résultats consignés dans le tableau qui précède, comme nous l'avons fait pour les autres séries d'ex-

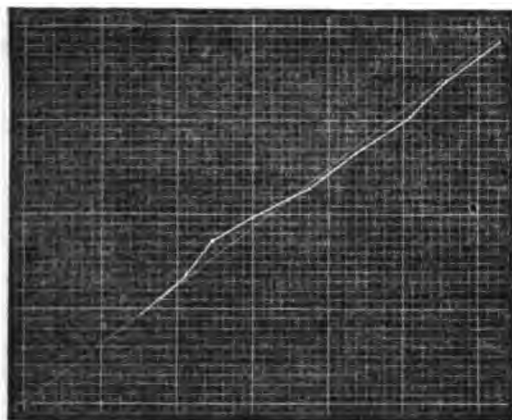


Fig. 5.

périences, et admettant toujours pour le coefficient de la contraction la valeur $m = 0,80$, on reconnaît encore que ce lieu géométrique des points ainsi déterminés est une ligne droite qui

passe par l'origine des coordonnées et dont l'inclinaison fournit, entre les volumes d'air aspiré et le nombre de tours du ventilateur, la relation

$$Q = 0^{mc},00499\ N \text{ en } 1'' \text{ ou}$$
$$Q = 0^{mc},299\ N \text{ en } 1'.$$

Nous comparerons plus tard l'effet de ce grand ventilateur à celui de M. Guérin, sous le rapport du rendement, par rapport au volume engendré et au travail moteur.

11. *Expériences sur le ventilateur à hélices de M. Guérin agissant par insufflation.* — En changeant le sens du mouvement des ventilateurs, il nous a été facile de les faire agir par insufflation; mais nous n'avons pu faire d'expériences réellement comparatives qu'avec le ventilateur de M. Guérin, parce que l'observation des effets qui se produisent dans les appareils de ce genre qui agissent par insufflation nous a prouvé qu'il aurait fallu adapter au grand ventilateur un tuyau de refoulement d'une longueur considérable, afin de régulariser la marche de l'air refoulé. Nous parlerons plus loin de ces effets particuliers aux ventilateurs à hélices, et nous nous contenterons de discuter les résultats que nous a fournis celui de M. Guérin.

Les résultats des quatre séries d'expériences que nous avons exécutées sont consignés dans le tableau suivant :

Expériences sur un ventilateur à hélices construit par M. Guérin.
Le ventilateur agit par insufflation.

Numéros des séries.		NOMBRE DE TOURS du ventilateur en 1'.	NOMBRE DE TOURS de l'anémomètre en 1'.	NOMBRE DE TOURS de l'anémomètre en 1''.	VITESSE de l'air en 1''.	VOLUME D'AIR insufflé en 1''.	NOMBRE de tours du dynamomètre en 1'.	VITESSE à la circonférence du dynamomètre en 1''.	EFFORT MOYEN.	TRAVAIL moteur en 1''.	EFFET utile ou moitié de la force vive imprimée en 1''.	RENDEMENT DU VENTILATEUR.	OBSERVATIONS.
					m.	mc.		m.	k.	km.	km.		
1	1	150	900	15.0	1.260	0.0882	42.75	1.56	«	«	0.0183	«	L'anémomètre est placé à 28m.50 de l'hélice.
	2	290	1180	19.6	1.504	0.1058	82.80	3.36	2.87	8.71	0.1298	0.0149	
	3	438	1850	30.8	2.090	0.1463	126.95	4.64	3.26	15.12	0.4663	0.0306	
	4	570	4000	66.6	3.980	0.1786	162.65	5.96	4.43	26.40	0.9819	0.0372	
	5	612	4260	71.0	4.210	0.2967	174.62	6.40	5.38	34 43	1.2150	0.0353	
	6	765	5500	91.6	5.300	0.3710	218.32	8.03	6.57	52.75	2.4010	0.0455	
2	1	315	1580	26.3	1.85	0.1295							Dans les expériences 1, 3 et 4, l'anémomètre était placé au milieu de la longueur du tuyau à 14m.25 de l'hélice, et dans la 2e à 4m 25.
	2	535	2350	39.10	2.53	0.1771							
	3	652	3270	54.5	3.34	0.2338							
	4	670	3950	65.8	3.94	0.2758							
3	1	368	2270	37.8	2.46	0.1720							L'anémomètre est à 28m.50 de l'hélice.
	2	530	3700	61.6	3.72	0.2604							
	3	820	5900	98.3	5.66	0.3962							
4	1	300	1750	29.1	2.01	0.1407							L'anémomètre est à 28m.50 de l'hélice.
	2	435	2450	40.8	2.62	0.1834							
	3	730	4760	79.3	4.65	0.3255							

12. *Représentation graphique et discussion des résultats de ces expériences.* — En représentant, comme nous l'avons fait pour les séries précédentes, les résultats de ces expériences par une construction graphique, on reconnaît (voir à la figure du nº 6, page 262) encore que le lieu géométrique des points ainsi déterminés est une ligne droite qui passe par l'origine des coordonnées, ce qui indique que, dans ce cas comme dans celui de l'aspiration, les volumes d'air écoulés sont proportionnels au nombre de tours du ventilateur. Mais l'inclinaison de cette ligne fait voir en même temps que, pour un même nombre de tours, le ventilateur fournit beaucoup moins d'air quand il refoule que quand il aspire : En effet, cette inclinaison nous donne la proportion

$$800^{t} : 0^{mc}.355 :: N : Q, \text{ d'où } Q = \frac{0^{mc}.355}{800} N = 0^{mc}.000444\ N$$

ou $$Q = 0^{mc}.02664\ N \text{ en } 1'.$$

La formule relative au ventilateur aspirant pour une minute étant

$$Q = 0^{mc}.04386\ N,$$

il s'ensuit que les volumes d'air fournis par le ventilateur aspirant sont, pour un même nombre de tours, à ceux du ventilateur insufflant dans le rapport des nombres

$$0^{mc}.04386 \text{ à } 0^{mc}.02664 \text{ ou de } 1 \text{ à } 0.607;$$

par conséquent, toutes choses égales d'ailleurs, le ventilateur à hélices insufflant ne fournit qu'un volume d'air égal aux 0.607 de celui que peut extraire le même ventilateur aspirant.

13. *Cause de l'infériorité des ventilateurs à hélices quand ils sont employés à l'insufflation.* — Le mode d'action des ventilateurs à hélices est totalement différent de celui des ventilateurs ordinaires, et il présente certaines circonstances particulières sur lesquelles il importe de fixer l'attention. Quelle que soit la diversité des dispositions adoptées pour les spires qui les constituent, qu'elles soient continues ou discontinues, l'hélice, dans son ensemble, agit comme celle des bateaux à vapeur, à la manière

d'une vis qui se meut dans un écrou fluide. Une partie du fluide échappe à son action, l'autre reçoit un mouvement de translation longitudinal, et nous chercherons plus loin à montrer dans quelle proportion cette partie de l'air sur laquelle agit l'hélice se trouve par rapport au volume engendré par cette hélice.

Mais, outre le mouvement de translation, l'air reçoit de l'hélice un mouvement de rotation autour de l'axe de celle-ci, et ce mouvement du centre à la circonférence donne lieu à un développement de force centrifuge qui exerce une grande influence sur les effets de l'appareil.

Sous l'action de cette force, les molécules d'air sont rejetées de l'axe vers la circonférence, et quel que soit le sens du mouvement du ventilateur, il se produit à cet axe une diminution de pression très-sensible, et, au contraire, une augmentation de pression et un refoulement des molécules vers la circonférence. Ces effets sont faciles à comprendre, et sont rendus très-sensibles à l'aide de la flamme d'une bougie.

En présentant cette flamme près de l'axe et du côté de l'ouverture extérieure de l'enveloppe de l'hélice, on la voit s'incliner vers l'intérieur et dans le sens de cet axe; signe évident d'une infériorité de la pression intérieure et d'une introduction d'air près de cet axe. A mesure qu'on éloigne la flamme du centre, l'effet s'atténue, et bientôt on la voit s'incliner dans le sens du rayon, et enfin vers l'extérieur du tuyau qui enveloppe l'hélice. Ce dernier effet, qui se produit, je le répète, dans l'insufflation comme dans l'aspiration, indique que dans l'un comme dans l'autre cas l'action de la force centrifuge repousse dans le voisinage de la surface du cylindre l'air de l'intérieur à l'extérieur.

Or, quand le ventilateur aspire, cet effet est plutôt favorable que nuisible à son action, puisqu'il aide à l'échappement de l'air aspiré dans l'espace, et que le mode de cet échappement a peu d'influence sur l'effet de l'appareil. L'introduction de l'air par l'axe pourrait peut-être nuire à l'appel que le ventilateur doit exercer; mais pour peu que l'hélice ait quelque longueur, cette introduction ne doit pas se faire sentir jusqu'à son extrémité.

Dans le cas où l'appareil agit par insufflation, il arrive, au contraire, que l'action de la force centrifuge rejette sans cesse à l'extérieur de l'enveloppe et par son orifice même d'introduction une partie de l'air admis dans le voisinage de l'axe, ce qui

contribue à diminuer notablement le volume d'air insufflé par tour du ventilateur, ainsi que l'a démontré l'expérience.

Mais l'influence de la force centrifuge sur les effets des ventilateurs à hélices ne se borne pas à cette différence entre les volumes d'air aspirés ou refoulés dans les deux cas. Elle en a une autre non moins, et même je crois bien plus, importante encore et plus fâcheuse au point de vue de l'utilisation du travail moteur dans le cas de l'insufflation.

En effet, lorsque le ventilateur aspire, l'air qui afflue sur les hélices par le tuyau d'appel arrive sur celle-ci animé d'un mouvement à très-peu près parallèle à l'axe, et il ne commence à obéir à l'action de la force centrifuge qu'à partir du moment où il s'est introduit dans l'hélice, puis il s'échappe dans l'espace avec un double mouvement de translation selon l'axe et de rotation dans le sens de la circonférence. Ce dernier mouvement, qui concourt avec le premier pour favoriser l'évacuation, ne peut qu'augmenter la vitesse absolue d'échappement, qui est ainsi la diagonale d'un parallélipipède dont les trois côtés sont la vitesse de translatien selon l'axe, la vitesse de translation suivant le rayon, et la vitesse dans le sens de la circonférence.

A l'inverse, quand le ventilateur agit en refoulant l'air dans le tuyau de conduite, il s'échappe des hélices animé d'un mouvement giratoire qui tend à le condenser vers la surface du tuyau, et qui augmente considérablement la vitesse avec laquelle il frotte sur ces parois, ainsi que le chemin parcouru par les points frottants. Ce mouvement se prolonge sur une grande étendue dans le conduit, et donne lieu à une consommation complétement inutile de travail moteur et de force vive.

En appliquant l'oreille et même la main sur les parois extérieures du tuyau en tôle employé dans nos expériences, nous avons pu constater des vibrations très-sensibles jusqu'à 14 ou 15 mètres de distance de l'hélice.

A cette distance, ou même plus loin, lorsqu'au lieu d'introduire l'anémomètre dans l'axe même du tuyau on le plaçait près de la paroi, on reconnaissait au trouble apporté dans les indications que le mouvement des filets fluides était loin d'être uniforme et parallèle; aussi, pour obtenir des résultats concordants, avons-nous été obligé d'opérer le plus souvent à l'extrémité même du tuyau, et encore peut-on remarquer à l'inspection

de la figure qui représente les résultats des expériences que leur ensemble offre moins de régularité que celui des expériences où l'on procédait par aspiration.

Or, les mouvements giratoires, par les pertes de forces vives et par l'accroissement des résistances auxquelles ils donnent lieu, doivent contribuer à augmenter le travail moteur nécessaire pour opérer le refoulement d'un volume d'air donné, et puisque, d'une autre part, l'introduction de l'air est directement contrariée par l'action de la force centrifuge, l'on doit s'attendre que pour mettre en mouvement un même volume d'air, un ventilateur à force centrifuge, quelle que soit sa construction, devra exiger un travail moteur plus considérable quand il refoulera l'air que quand il l'aspirera, toutes choses étant égales d'ailleurs.

C'est ce que l'expérience confirme complétement, ainsi qu'on va le voir.

14. *Nécessité de faire les observations sur les ventilateurs insufflants à une grande distance de l'hélice.* — Les circonstances que nous venons de détailler prouvent d'une manière évidente que, pour déterminer les volumes d'air fournis par un ventilateur à hélices employé à l'insufflation, il est nécessaire de faire les observations à une grande distance de l'instrument du côté où il refoule, et que toutes celles qui seraient faites dans son voisinage seraient inévitablement entachées d'erreurs graves. A plus forte raison en serait-il de même si l'observation était faite près des ventilateurs et du côté de l'arrivée de l'air.

De semblables expériences ne sauraient conduire à des résultats dignes de la moindre confiance.

15. *Relation entre le travail moteur et l'effet utile des ventilateurs à hélices.* — Dans un ventilateur dont la destination est d'imprimer à un certain volume d'air une vitesse voulue, l'effet utile ne peut être mesuré que par la moitié de la force vive qui a été communiquée à cet air.

En nommant donc Q le volume d'air,

A la section transversale du tuyau,

V la vitesse de passage de l'air dans cette section,

Et se rappelant que le mètre cube d'air à zéro pèse $1^{kil},30$, poids

que nous pouvons aussi admettre, sans erreur notable, pour les températures auxquelles nous avons opéré, l'expression de l'effet utile des ventilateurs précédents sera

$$\frac{1}{2}\times\frac{1.30}{9.81}\times QV^2=\frac{1}{2}\times\frac{1.30}{9.81}AV^3.$$

Pour le ventilateur de M. Guérin, nous avons $A = 0^{mq}.07$, et pour le grand ventilateur $A = 0^{mq}.7628$.

Les tableaux des expériences nous fournissant les valeurs de la vitesse V de l'air dans chaque cas, nous avons pu calculer celles de l'effet utile et les comparer à celles du travail moteur nécessaire pour faire marcher l'appareil aux différentes vitesses observées. Ce travail moteur était déterminé à l'aide d'un dynamomètre de rotation, et ses valeurs, ainsi que les résultats de la comparaison que nous venons d'indiquer, sont consignées dans les tableaux.

Nous réunissons ici les résultats pour en déduire les conséquences.

Ventilateur à hélices de M. Guérin, fonctionnant par aspiration.

NOMBRE DE TOURS en 1'.	EFFET UTILE en 1''.	TRAVAIL MOTEUR en 1''.	RENDEMENT.
	km.	km.	
108	0.0147	»	»
180	0.0725	»	»
250	0.1803	5.79	0.0315
370	0.4694	9.59	0.0489
435	1.0220	15.65	0.0638
550	1.7530	23.13	0.0758
715	3.5300	41.01	0.0861
822	5.0970	56.50	0.0902
	Moyenne	....	0.084

Ventilateur à hélices de M. Guérin, fonctionnant par insufflation.

NOMBRE DE TOURS en 1'.	EFFET UTILE en 1''.	TRAVAIL MOTEUR en 1''.	RENDEMENT.
	km	km.	
150	0.0183	»	»
290	0.1298	8.71	0.0149
438	0.4663	15.42	0.0306
570	0.9819	26.40	0.0372
612	1.2150	34.43	0.0353
765	2.4010	52.75	0.0455
	Moyenne....................		0.0393

Grand ventilateur à hélices fonctionnant par aspiration.

NOMBRE DE TOURS en 1'.	EFFET UTILE en 1''.	TRAVAIL MOTEUR en 1''.	RENDEMENT.
	km.	km.	
153.3	0.0719	6.117	0.0117
211.6	0.2165	9.348	0.0230
248.0	0.4396	12.918	0.0333
300.0	0.6412	17.184	0.0373
373.0	1.0017	27.134	0.0369
470.0	1.6374	38.640	0.0424
510.0	2.4993	45.032	0.0555
558.0	3.4829	66.296	0.0525
625.0	4.7676	88.435	0.0530
	Moyenne....................		0.0539

L'examen de ces résultats montre d'abord que, pour les ventilateurs dont il est ici question, le rendement augmente avec le nombre de tours qu'ils font en une minute jusqu'aux vitesses de 500 à 600 tours au moins, terme passé lequel, si cet accroissement se continue, il semble devenir de moins en moins sensible.

Si, pour comparer le rendement de ces ventilateurs au point de vue du travail moteur, nous prenons pour la valeur moyenne celle qui a été obtenue aux trois dernières expériences faites

sur chacun d'eux, nous trouvons pour le rendement de ces ventilateurs les valeurs suivantes :

Ventilateur à hélices de M. Guérin	aspirant..	0.0840 de 550 à 822 tours en 1'.
	refoulant.	0.0393 de 570 à 765 tours en 1'.
Grand ventilateur —	aspirant..	0.0539 de 510 à 625 tours en 1'.

Il résulte de ce rapprochement que le même ventilateur fonctionnant par aspiration donne, sous le rapport de l'utilisation de la puissance motrice, un rendement supérieur à celui qu'il fournit en refoulant l'air dans le rapport de 0.0840 à 0.0393 ou de 2.13 à 1.00.

Ce résultat, qui tient aux causes que nous avons indiquées au n° 13, n'a rien qui doive surprendre et prouve que ce genre de ventilateur doit être de préférence employé en le faisant agir par aspiration.

Quant au grand ventilateur, son rendement est inférieur à celui du petit dans le rapport de 0.0539 à 0.0840 ou de 1.00 à 1.55, ce qui montre que sa disposition et ses proportions étaient moins favorables que celles du ventilateur de M. Guérin, à hélices divisées et dont la longueur, par rapport au diamètre, était plus considérable.

16. *Comparaison du volume engendré par les hélices et du volume d'air aspiré.* — Pour pouvoir déduire directement des dimensions d'un ventilateur et du nombre de tours qu'on lui fait faire, le volume d'air qu'il peut fournir, il est bon de rechercher si l'expérience donne entre ces quantités quelque rapport simple.

A cet effet, nous avons comparé le volume cylindrique des deux ventilateurs à hélices que nous avons employés, et en les multipliant par le nombre de tours qu'ils avaient faits dans chaque expérience, puis en les rapprochant des volumes d'air aspirés dans le même temps, nous avons pu former les tableaux suivants :

Ventilateur à hélices de M. Guérin.

Diamètre extérieur des hélices $0^{m}.480$;
Diamètre du cylindre-enveloppe $0^{m}.500$;
Longueur des hélices dans le sens de l'axe $0^{m}.700$;

Volume cylindrique engendré par l'hélice = $0^{mc}.0777$, sans déduction du volume de son arbre.

Rendement du ventilateur à hélices de M. Guérin.

NOMBRE DE TOURS du ventilateur en 1'.	NOMBRE DE TOURS du ventilateur en 1".	VOLUMES engendrés en 1".	VOLUMES aspirés en 1".	RENDEMENT.
		mc.	mc.	
108	1.80	0.140	0.0823	0.590
180	3.00	0.233	0.1405	0.603
250	4.16	0.323	0.190	0.588
370	6.16	0.467	0.2609	0.559
435	8.01	0.622	0.3382	0.544
550	9.07	0.702	0.405	0.567
715	11.91	0.925	0.5336	0.578
822	13.7	1.063	0.578	0.545
		Moyenne		0.572

Grand ventilateur à hélices.

Diamètre extérieur de l'hélice, $0^{m}.985$;
Diamètre du cylindre-enveloppe, $1^{m}.000$;
Longueur des hélices dans le sens de l'axe, $1^{m}.00$;
Pas de l'hélice, $0^{m}.50$;
Volume cylindrique engendré dans un tour par les hélices, $0^{mc}.762$, sans déduction du volume de son arbre.

Rendement du grand ventilateur à hélices dans l'aspiration.

NOMBRE DE TOURS du ventilateur en 1'.	NOMBRE DE TOURS du ventilateur en 1".	VOLUMES engendrés en 1".	VOLUMES aspirés en 1".	RENDEMENT.
		mc.	mc.	
153.3	2.55	1.94	0.732	0.380
211.6	3.53	2.68	1.066	0.397
268.0	4.47	3.40	1.350	0.397
300.0	5.00	3.80	1.530	0.403
373.0	6.21	4.74	1.777	0.375
450.0	7.50	5.71	2.093	0.366
500.0	8.33	6.35	2.040	0.320
551.0	9.18	7.00	2.694	0.385
625.0	10.41	7.95	2.949	0.371
		Moyenne.....................		0.377

Cette comparaison montre que le volume d'air fourni par chaque révolution des deux ventilateurs à hélices essayés est, pour le

Ventilateur de M. Guérin, fonctionnant par aspiration, 0.592
Grand ventilateur — — 0.377

du volume engendré par les hélices.

Le rendement en volume d'air par tours du grand ventilateur est donc à celui du petit dans le rapport de 0.377 à 0.572, ou de 1 à 1.51, c'est-à-dire à peu près le même que celui des rendements au point de vue de l'utilisation du travail moteur.

Il suit donc de là que, sous le double point de vue du rendement en travail mécanique, il paraîtrait y avoir avantage à donner aux ventilateurs de ce genre une longueur double du pas et à fractionner les hélices en un certain nombre de parties.

17. *Rendement en volume des ventilateurs à hélices insufflants.*— L'on a vu au n° 12 que le ventilateur à hélices insufflant ne donnait, à vitesses égales, qu'un volume d'air égal à 0.607 de celui que fournirait le même ventilateur en aspirant. Par conséquent, le rendement du petit ventilateur insufflant ne serait que

$$\frac{Q}{Q,} = 0.556 \times 0.607 = 0.337.$$

18. *Conséquences des expériences sur les ventilateurs à hélices.* — De l'ensemble des expériences que nous venons de discuter, il résulte :

1° Que les ventilateurs à hélices sont d'un emploi beaucoup plus avantageux quand ils fonctionnent par aspiration que par refoulement ;

2° Que quand les hélices ont une longueur à peu près du double de leur diamètre et forment deux demi-hélices, le rapport du volume d'air aspiré Q au volume $Q_{,}$ engendré par l'hélice est

$$\frac{Q}{Q_{,}} = 0.570 ;$$

3° Que l'emploi des ventilateurs aspirants à hélices bien proportionnés ne permet guère d'utiliser plus de 0.084 du travail moteur en mesurant l'effet utile par la moitié de la force vive imprimée à l'air ;

4° Que les ventilateurs à hélices employés à l'insufflation avec un tuyau de refoulement d'une certaine longueur (28 mètres, par exemple) et complétement ouvert ne fournissent guère qu'un volume d'air égal à 0.337 du volume engendré par leur hélice ;

5° Que, dans ce cas, le rendement de l'appareil mesuré par la moitié de la force vive imprimée à l'air n'est que 0.0393 du travail moteur.

VENTILATEURS A PALETTES COURBES.

19. *Expériences sur les ventilateurs de M. Lloyd.* — L'un des plus grands inconvénients que l'on reproche aux ventilateurs ordinaires, c'est l'espèce de ronflement qu'ils font entendre au loin, et qui augmente d'intensité avec la vitesse qu'on leur imprime. Ce bruit, très-incommode, est même un obstacle à leur emploi dans beaucoup de circonstances, et les constructeurs ont cherché à l'éviter par différents moyens.

Parmi les modèles présentés comme réalisant ce perfectionnement, l'on a remarqué à l'Exposition universelle de Londres, en 1851, le ventilateur de M. Lloyd, dit *noiselessfan*, qui, jusqu'à des vitesses de 800 à 1000 tours environ par minute, résout assez bien le problème.

Ce modèle de ventilateur se compose d'un double tronc de cône en tôle, dont les deux grandes bases sont opposées l'une à

l'autre, séparées ou non par un diaphragme, et dont les deux troncatures sont ou peuvent être ouvertes pour l'introduction de l'air.

Cette disposition générale est modifiée selon qu'il s'agit d'un ventilateur aspirant ou d'un ventilateur insufflant.

Dans le premier cas, l'appareil est disposé comme l'indique la figure ci-jointe :

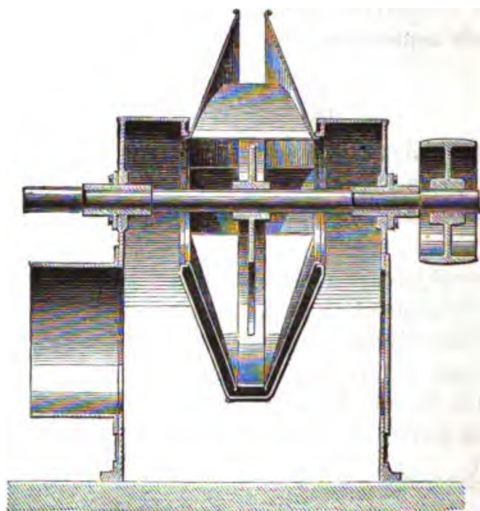


Fig. 6.

Les palettes, au nombre de six, sont en tôle et en forme d'aubes courbes trapézoïdales. Elles ne sont prolongées que jusqu'à l'ouverture centrale, et sont réunies par deux bagues concentriques à l'axe, et parfaitement tournées à l'extérieur. Un manchon en fonte, claveté sur l'arbre, et placé au milieu de la longueur de l'axe du cône, porte six nervures qui relient et consolident les palettes.

Le double tronc de cône ainsi formé est engagé par ses bagues dans un bâti creux en fonte que traverse l'axe, et qui présente deux anneaux garnis d'une rondelle de cuir, dans lesquels se logent les deux bagues qui assemblent les ailettes, de manière à former un joint à peu près hermétique, dans lequel tournent ces bagues. Les faces extérieures de ce bâti portent des collets à garniture hermétique que traverse l'arbre. Ce bâtis en fonte est

évidé dans son milieu pour laisser circuler le ventilateur, de manière à permettre la sortie de l'air sur toute sa circonférence. Sur l'un ou sur chacun des côtés verticaux de cette caisse est une ouverture par laquelle se produit l'aspiration, et qui peut recevoir un tuyau plus ou moins long.

Le ventilateur insufflant du même système, et qui nous a été prêté par M. J.-F. Cail, a des formes assez différentes, quant à sa partie tronconique qui porte les ailes, et une disposition spéciale par suite du but à atteindre.

Les deux bases des cônes sont réunies par un diaphragme qui

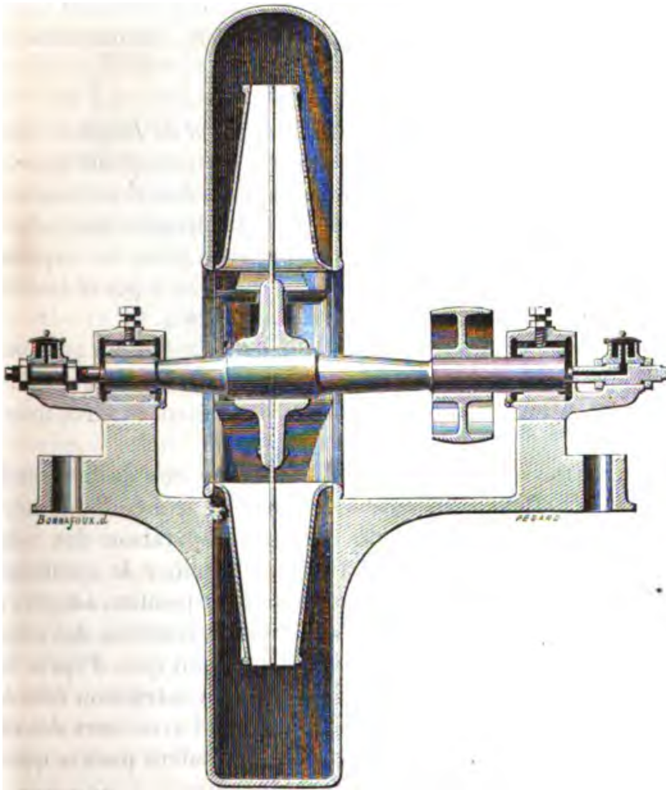


Fig. 7.

sépare complétement ces cônes, dont les troncatures sont ouvertes pour l'aspiration de l'air.

Ce ventilateur proprement dit est renfermé complétement dans une caisse en fonte, dans laquelle il est isolé excentriquement par deux joints annulaires hermétiques. L'air qu'il a aspiré par son centre est rejeté par la force centrifuge dans l'espace annulaire excentrique qui l'entoure, et s'échappe par une ouverture rectangulaire que présente l'enveloppe, et à laquelle un tuyau de refoulement peut être adapté.

Ces deux ventilateurs, dont nous avons successivement étudié les effets, ont des dimensions peu différentes, et en rapportant les volumes d'air qu'ils ont mis en mouvement, l'un par aspiration, l'autre par refoulement, à celui qu'engendraient leurs palettes, nous avons pu en comparer les effets, comme nous l'indiquerons plus loin.

20. *Expériences sur le ventilateur aspirant de Lloyd.* — Ces expériences ont été faites en adaptant au ventilateur un tuyau d'aspiration de $0^{m}.30$ de diamètre, auquel on a donné successivement des longueurs de $6^{m}.00$ et de $26^{m}.00$. Cette dernière longueur étant à peu près celle que le même tuyau avait pour les expériences faites sur le ventilateur à hélices, il nous sera possible de comparer les effets des deux sortes de ventilateurs.

L'observation des vitesses a été faite à l'aide d'un anémomètre à pointage, à trois distances différentes du ventilateur, à $4^{m}.50$, à $17^{m}.00$, à $26^{m}.00$, cette dernière position étant l'entrée même du tuyau.

L'instrument ayant été placé à $0^{m}.20$ environ du plan de l'orifice, et le volume d'air entrant devant être le même que celui qu passait plus loin, l'on a pu, par la comparaison des volumes calculés aux différentes positions, déterminer le coefficient de contraction à l'entrée du tuyau, et pour la position adoptée pour l'instrument. L'on a ainsi calculé tous les résultats des observations faites à l'entrée du tuyau, en admettant que, d'après la position de l'instrument, le coefficient de la contraction était égal à 0".70. L'accord des chiffres qui en résultent avec ceux des observations faites à $4^{m}.50$ et à $17^{m}.00$ du ventilateur prouve que cette valeur du coefficient était convenable pour ces expériences.

Nous devons faire remarquer cependant que dans les expériences que nous avons faites sur le ventilateur à hélices aspirant, pour lequel on employait le même tuyau, nous avions été conduit

par une comparaison analogue à adopter pour le coefficient de contraction à l'entrée la valeur 0".80. Mais dans ces expériences l'anémomètre avait été placé à 0m.10 de l'entrée, tandis que dans celles dont nous nous occupons actuellement il l'a été à 0m.20.

Cette différence dans la valeur du coefficient de contraction semblerait prouver que, dans le premier cas, l'instrument n'était pas dans la section de plus grande contraction, et qu'il s'en rapprochait davantage dans le second ; ce qui montre que, dans des expériences de ce genre, il faut avoir soin de placer toujours l'anémomètre assez avant dans le tuyau où se fait l'aspiration, afin de se mettre à l'abri de toute incertitude sur l'influence de la contraction à l'entrée.

Quoi qu'il en soit, dans l'une comme dans l'autre des séries d'expériences sur les ventilateurs aspirants que nous rapportons, les observations ayant été faites successivement dans des parties du tuyau où le parallélisme des filets fluides devait être établi, les différences d'appréciation du coefficient de contraction à l'entrée du tuyau n'ont aucune importance pour la discussion des résultats, et nous ne les avons mentionnées que pour mettre les observateurs en garde contre les erreurs auxquelles ils pourraient être conduits, dans des cas analogues, en faisant leurs déterminations en des points trop rapprochés de l'entrée des tuyaux.

Tous les résultats des expériences sont consignés dans les deux tableaux suivants :

Expériences sur un ventilateur aspirant de Lloyd, avec un tuyau d'aspiration de 26m de longueur.

4 et 5 avril 1861.

NOMBRE de tours du ventilateur en 1'.	NOMBRE de tours du ventilateur en 1''.	DISTANCE de l'anémomètre au ventilateur.	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1'.	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1''.	VITESSE correspondante de l'air en 1''.	VOLUME d'air aspiré en 1''.	OBSERVATIONS.
		m.			m.	mc.	
174	2.90	4.50	2860	47.66	3.21	0.225	Dans ces expériences le tuyau d'aspiration avait 26m.00 de longueur.
170	2.83		2800	46.67	3.16	0.221	Pour les observations où l'anémomètre était placé à 4m.50 ou à 17m du ventilateur, l'on a calculé le volume d'air aspiré, en multipliant l'aire de section du tuyau égale à 0mq.07 par la vitesse observée.
170	2.83	17.00	2800	46.67	3.16	0.221	Mais pour les observations faites à l'extrémité du tuyau l'on a réduit ce produit en 0m.70 de sa valeur afin de tenir compte de la contraction.
170	2.83		2800	46.67	3.16	0.221	La formule de l'anémomètre est V = 0m.80 + 0.05067 N.
180	3.00	26.00	4400	73.33	4.51	0.221	
181	3.01		4400	73 33	4.51	0.221	
258	4.30	4.50	4550	75.80	4.64	0 325	
238	3.77		4100	68.33	4 26	0.298	
237	3.95	17.00	3800	63.33	4.00	0 280	
242	4 03		3950	65.83	4.13	0.289	
235	3.91	26.00	6200	103.33	6.03	0.295	
230	3.83		6100	101.67	5.95	0.292	
300	5.00	4.50	5400	90.00	5.90	0.413	
302	5.03		5400	90.00	5.90	0.413	
300	5.00	17.00	5300	88.33	5.27	0.369	
297	4.95		5260	87.67	5.25	0.367	
304	5.07	26.00	8000	133.33	7.55	0 370	
304	5.07		8000	133.33	7.55	0.370	
376	6.27	4.50	7000	116.67	6.71	0.470	
373	6.21		6850	114.17	6.58	0.461	
375	6.25	17.00	6700	111.67	6.45	0.451	
377	6.28		6900	115 00	6.62	0.453	
368	6.13	26.00	10200	170.00	9.42	0.462	
398	6.63		10800	180.00	9.92	0.485	
452	7.53	4.50	8400	140.00	7.89	0.552	
420	7.00		8200	136.67	7.72	0.540	
447	7.45	17.00	8000	133.33	7.55	0.528	
450	7.50		8200	136.67	7.72	0.540	

Expériences sur un ventilateur aspirant de Lloyd, avec un tuyau d'aspiration de 6m de longueur.

NOMBRE de tours du ventilateur en 1'.	NOMBRE de tours du ventilateur en 1''.	DISTANCE de l'anémomètre au ventilateur.	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1'.	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1''.	VITESSE correspondante de l'air en 1''.	VOLUME d'air aspiré en 1''.	OBSERVATIONS.
		m.			m.	mc	
173	2.88	6.00	4900	81.66	4.94	0.242	Pour toutes ces expériences l'on a admis la valeur $m = 0.70$ pour le coefficient de contraction à l'entrée du tuyau où était placé l'anémomètre.
171	2.85		4880	81.33	4.92	0.242	
288	4.80		8700	145.00	8.14	0.399	
303	5.13		9400	156.67	8.73	0.428	
426	7.10		11400	190.00	10.42	0.511	
434	7.23		11400	190.00	10.42	0.511	

21. *Représentation graphique des résultats.*— Si l'on prend pour abscisses les nombres de tours du ventilateur à l'échelle de 0m.05 pour 100 tours en 1', et pour ordonnées les volumes d'air aspirés par seconde à l'échelle de 0m.02 pour 100 litres, l'on reconnaît d'abord que, pour la série la plus complète, où le tuyau d'aspiration avait 26m.00 de longueur, les points ainsi déterminés se trouvent à peu près sur une ligne droite passant par l'origine des coordonnées, ce qui montre que dans les limites des expériences *le volume d'air aspiré est très-sensiblement proportionnel au nombre de tours du ventilateur.*



Fig. 8.

L'inclinaison de la ligne droite ainsi tracée nous permet de déterminer, pour le ventilateur expérimenté, la valeur pratique du rapport du volume d'air aspiré au nombre de tours; car nous y trouvons que, pour le nombre de 500 tours en 1', le volume aspiré serait de 0mc.620 × 60 = 37mc.20 en 1'.

Par conséquent, si, rapportant les nombres de tours et les volumes à la minute, nous nommons :

N le nombre de tours en 1′;

Q le volume d'air aspiré en 1′;

Nous aurons la proportion :

500 tours : $37^{mc}.20$: : N : Q ; d'où

$$Q = \frac{37^{mc}.20}{500} N = 0{,}0744\ N^{mc} \text{ en } 1'.$$

ou Q en 1″ = 0,00124 N^{mc}. N étant toujours rapporté à la minute.

Ainsi, un petit ventilateur de ce modèle est susceptible, à la vitesse de 500 tours seulement par minute, d'aspirer un volume d'air $Q = 0{,}0744 \times 500 \times 60 = 2232^{mc}$ en 1 heure, et très-probablement le double ou 4464^{mc} par heure à celle de 1000 tours, où il commence, à ce qu'il paraît, à faire quelque bruit. Ces volumes seraient presque le double de ceux que fournirait le ventilateur à hélices dont il a été parlé au nº 6.

22. *Observations sur la vitesse de l'air dans le tuyau.* Dans ces expériences, la vitesse de l'air dans le tuyau s'est élevée à plus de $7^{m}.50$ en 1″, et comme les poussières du sable sont entraînées à cette vitesse, l'on voit qu'on pourrait employer ce ventilateur à l'entraînement des poussières des meules.

23. *Influences de la longueur du tuyau d'aspiration.*— Les proportions dans lesquelles il nous a été possible de faire varier la longueur du tuyau d'aspiration, n'ont pas été assez grandes pour rendre très-sensible l'influence de la résistance qu'éprouvait l'air dans les conditions de nos observations. Cependant la représentation graphique des résultats semble montrer que, quand le tuyau d'aspiration n'avait que $6^{m}.00$ de longueur, le volume d'air aspiré était un peu plus grand.

Des expériences spéciales sur des conduites de longueur beaucoup plus grandes, par rapport à leur diamètre, seraient nécessaires pour apprécier l'influence de la résistance des parois, et il serait aussi indispensable d'opérer sur des conduites de substances diverses, et surtout rugueuses, comme celles des cheminées et des foyers ordinaires. C'est ce que nous nous proposons de faire prochainement.

24. *Comparaison du volume engendré par le ventilateur au volume d'air aspiré.* — D'après les dimensions des ailettes de ce ventilateur, dont la surface en forme de trapèze courbe est de $0^{mq}.037$ et dont le centre de gravité est à $0^{m}.223$ de l'axe de rotation, il est facile de voir que le volume engendré par une palette dans un tour du ventilateur est

$$6.28 \times 0^{m}.223 \times 0^{mq}.037 = 0^{mc}.0518;$$

par conséquent le volume Q_1, engendré par cette ailette ou par le ventilateur dans un nombre N de tours par minute, sera

$$Q_1 = 0^{mc}.0518\ N,$$

mais nous avons vu précédemment que le volume d'air Q aspiré par le ventilateur avait pour expression

$$Q = 0^{mc}.0744\ N,$$

il suit de là que le rapport du volume d'air aspiré au volume d'air engendré par les ailettes du ventilateur est

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{0.0744}{0.0518} = 1.40,$$

ainsi le volume d'air aspiré par ce ventilateur et passant par un tuyau d'appel de $26^{m}.00$ est égal à 1.40 fois celui qui est engendré par le ventilateur.

Ce résultat favorable n'a rien qui puisse surprendre; car, à l'action que provoque le simple déplacement des palettes, et qui par elle seule tendrait à établir l'égalité entre les deux volumes, se joint celle de la force centrifuge, qui, en accélérant le passage de l'air à travers l'appareil, doit en augmenter le débit, qui est d'ailleurs entièrement libre à l'extérieur, autre circonstance très-favorable à son échappement.

25. *Supériorité du ventilateur à palettes courbes du système Lloyd sur le ventilateur à hélices dans l'aspiration.* — Si l'on se rappelle que, dans nos expériences sur les ventilateurs à hélices, nous avons trouvé pour le rapport des volumes engendrés par le ventilateur au volume d'air aspiré, pour

le ventilateur de $0^{m}.48$ de diamètre $\frac{Q}{Q_1} = 0.572$,

le ventilateur de $0^{m}.985$ de diamètre $\frac{Q}{Q_1} = 0.377$,

l'on verra que les ventilateurs à hélices sont, à volume égal, beaucoup moins avantageux que les ventilateurs à aubes courbes du système Lloyd pour l'aspiration.

26. *Expériences dynamométriques.* — Pour une partie des expériences dont on vient de parler, l'on a déterminé le travail moteur nécessaire pour produire l'aspiration d'un volume d'air déterminé et correspondant à des vitesses données du ventilateur.

La représentation graphique des résultats des observations faites sur les volumes, rapportée au n° 23, permettant de déduire les valeurs moyennes de ces volumes du nombre de tours du ventilateur en moyenne de la formule

$$Q^{mc} = 0.0744$$

Q étant le volume aspiré en 1′, l'on en a conclu le volume $\frac{Q}{60}$ aspiré en 1″, et on l'a inséré dans le tableau suivant, ainsi que les résultats directs des observations dynamométriques.

L'on a ensuite calculé les vitesses moyennes correspondantes, ainsi que les forces vives avec lesquelles le volume d'air écoulé parcourrait le tuyau et, en en prenant la moitié, l'on a eu la valeur de l'effet utile produit par le ventilateur, déduction faite des pertes dues à diverses causes.

Le rapport de cet effet utile au travail moteur, indiqué par le dynamomètre, a fourni la valeur du rendement de l'appareil.

Tous les résultats de ces comparaisons et des observations sont réunis dans le tableau suivant.

Expériences dynamométriques faites sur le ventilateur aspirant de Lloyd. — 4 avril 1864.

NOMBRE de tours du ventilateur en 1'.	NOMBRE de tours du ventilateur en 1''.	DISTANCE de l'anémomètre au ventilateur.	VITESSE correspondante de l'air en 1''.	VOLUME D'AIR aspiré en 1''.	NOMBRE de tours du dynamomètre en 1'.	NOMBRE de tours du dynamomètre en 1''.	VITESSE de la circonférence de sa poulie en 1''.	EFFORT MOYEN.	TRAVAIL MOTEUR en 1''.	Moitié de la force vive imprimée en 1''.	RENDEMENT du ventilateur.
		m.	m.	mc.			m.	kil.	km.	km.	
Le tuyau d'aspiration a 26m.00.											
202	3.37	26.00	3.57	0.250	76	1.27	2.79	1.22	3.33	0 111	0.067
252	4.20		4.46	0.312	92	1.53	3.36	1.27	4.27	0.390	0.091
376	6.27		6.66	0.466	140	2.33	5.12	2.39	12.24	1.390	0.113
384	6.40		6.8	0.476	142	2.37	5.21	2.65	14.81	1.456	0.098
446	7.43		7.9	0.553	170	2.83	6.22	3.06	19.00	2.287	0.120
Le tuyau d'aspiration ayant 6m.00.											
194	3.23	6.00	4.46	0.312	72	1.20	2.64	1.96	6.17	0.411	0.067
252	4.20		5.71	0.400	92	1.53	3.56	2.03	6.82	0.867	0.127
398	6.63		7.78	0.545	146	2.43	5.34	3.20	17.09	2.179	0.127

27. *Conséquences des résultats précédents.* — L'on voit, par la valeur du rendement de cet appareil, que son effet utile, mesuré par la moitié de la force vive imprimée à l'air qui parcourt le tuyau, ne s'est pas élevé dans nos expériences au delà de 0.12 du travail moteur pour des vitesses comprises entre 375 et 450 tours

du ventilateur en une minute quand le tuyau avait 26m.00 de longueur, et qu'avec un tuyau de 6m.00 seulement, il s'est élevé à 0.127, dès les vitesses de 250 tours en 1'.

Pour des vitesses inférieures, ce rendement paraîtrait être moindre encore, ce qui peut être attribué à l'influence des résistances passives constantes de l'appareil.

En rapprochant ces résultats de ceux que nous avons trouvés au n° 15 pour le rendement du ventilateur à hélices aspirant qui a été de 0.0840 du travail moteur, l'on voit que le ventilateur de Lloyd employé à l'aspiration donne un rendement supérieur à celui du ventilateur à hélices de M. Guérin, dans le rapport de 0.120 à 0.084 ou d'environ 1.25 à 1.00.

28. *Expériences sur un ventilateur insufflant du système de Lloyd, construit par MM. J.-F. Cail.* — Nous avons soumis à des expériences analogues aux précédentes un ventilateur du même genre, construit par MM. J.-F. Cail et Cie, mais destiné à agir par insufflation, et dont les dimensions principales sont :

Diamètre extérieur des ailettes = 0m.770

Diamètre intérieur de l'enveloppe 0m.901 à 1m.015 par suite du jeu autour des ailettes, qui varie de 0m,016 à 0m,160.

Le tuyau de refoulement était le même qui avait été employé pour le ventilateur aspirant dont il a été question précédemment, et il a eu successivement les longueurs de 26m.00 et de 6m.00.

L'observation des vitesses a été faite avec un anémomètre dont la tare était comme précédemment,

$$V = 0^{m}.80 + 0,05067\ N.$$

La 1re série d'expériences dans laquelle les nombres de tours du ventilateur ont varié de 171 à 463,6 en 1', a été exécutée en plaçant successivement l'anémomètre à des distances de 5m.50, 17m.50 et 26m.00 du ventilateur, afin de s'assurer si les tourbillonnements éprouvés par l'air, après qu'il s'échappait des ailes, se propageaient au loin, et s'opposaient à ce qu'on fît des observations près du ventilateur.

L'expérience a prouvé que les nombres de tours de l'anémomètre, observés à ces trois distances, étaient sensiblement les mêmes pour une même vitesse du ventilateur.

Dans la 2e série d'expériences, où le tuyau avait aussi 26m.00,

l'anémomètre a été placé à l'extrémité du tuyau, et les nombres de tours ont varié de 434 à 985 en 1′.

Enfin, dans la 3e série, où le tuyau de refoulement n'avait que 6m.00 de longueur, l'anémomètre a été placé successivement à 3m.15 et à 6m.00 du ventilateur.

Les résultats de ces expériences sont consignés dans les tableaux suivants :

Expériences faites au Conservatoire des arts et métiers sur un ventilateur insufflant du système Lloyd, construit par MM. J.-F. Cail et Cie. — 17 avril 1860.

NOMBRE de tours du ventilateur en 1′.	NOMBRE de tours du ventilateur en 1″.	DISTANCE de l'anémomètre au ventilateur.	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1′.	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1″.	VITESSE moyenne de l'air en 1″.	VOLUME D'AIR insufflé.	RAPPORT du volume d'air insufflé au nombre de tours en 1″. $\frac{Q}{N}$
1re Série. — La longueur du tuyau de refoulement est de 26m.00.							
		m.			m.	mc.	
171.0	2.85	5.50	3750	63	3.99	0.279	0.098
171.0	2.85		3750	63	3.99	0.279	0.098
163.8	2.73	17.50	3950	66	4.14	0.290	0.106
177.0	2.95		4400	73	4.50	0.315	0.107
166.2	2.77	28.00	3750	62	3.94*	0.276	0.100
168	2.80		3800	63	3.99	0.280	0.100
247.8	4.13	5.50	5800	96	5.66	0.396	0.096
247.8	4.13		5850	97	5.71	0.399	0.096
246	4.10	17.50	6400	107	6.22	0.435	0.106
247.8	4.13		6400	107	6.22	0.435	0.105
247.8	4.13	28.00	5850	97	5.71*	0.400	0.097
246	4.10		5850	97	5.71	0.400	0.097
291.0	4.85	5.50	6800	113	6.52	0.456	0.094
288	4.80		6800	113	6.52	0.480	0.100
297	4.95	17.50	7600	127	7.23	0.506	0.107
286.2	4.77		7500	125	7.13	0.499	0.104
282.6	4.71	28.00	6900	115	6.62	0.463	0.098
291.0	4.85		7000	117	6.72*	0.470	0.097
469 2	7.82	5.50	10600	177	9.77	0.684	0.088
480	8.00		11000	183	10.07*	0.705	0.088
462.6	7.71	17.50	10900	181	9.97	0.698	0.091
462.6	7.71		11000	183	10.07	0.705	0.092
468	7.80	28.00	10800	180	9.92*	0.694	0.089
452.6	7.71		10700	178	9.82	0.687	0.089
				Moyenne	....		0.098

Dans ces expériences le tuyau de refoulement avait 26m.00 de longueur.
La formule de l'anémomètre est $V = 0.80 + 0.05067\ N$.
La section du tuyau de refoulement est de 0mq.07.

Expériences faites au Conservatoire des arts et métiers sur un ventilateur insufflant du système Lloyd, construit par MM. J. F. Cail et Cie, le 13 juillet 1861.

NOMBRE de tours du ventilateur		NOMBRE de tours de l'anémomètre		VITESSE moyenne de l'air en 1″.	VOLUME D'AIR insufflé en 1″.	RAPPORT du volume d'air insufflé au nombre de tours	TOURS du dynamomètre		CHEMIN parcouru en 1′.	EFFORT MOYEN.	TRAVAIL moteur.	EFFET UTILE $\frac{1.30}{19.6^2} = QV^2$.	RENDEMENT mécanique.
en 1′.	en 1″. N	en 1′.	en 1″.	V	Q	$\frac{Q}{N}$	en 1′.	en 1″.					
2e Série. — L'anémomètre était placé à l'extrémité du tuyau de refoulement de 26m de longueur.													
				m.	m.				m.	kil.	km.	km.	
434	7.2	11400	190	10.4	0.728	0.101							
447	7.4	12000	200	10 9	0.763	0.103	150	2.50	5.49	9.82	54	6.10	0.111
505	8.4	13100	218	11.8	0.826	0.098							
505	8.4	12950	216	11.7	0.819	0.097	174	2.90	6.37	11.71	74	7.43	0.100
635	10 6	16200	270	14.5	1.015	0.095	224	3.73	8.20	13.47	110	14.15	0.137
648	10.8	17300	288	15.4	1.078	0.091							
706	11.8	18300	305	16.2	1.134	0.096							
713	11.9	18700	311	16.5	1.155	0.097							
732	12.2	19200	320	17.0	1.190	0.092	252	4.20	9.23	14.50	134	22.80	0.170
777	12.9	20000	333	17.7	1.239	0.096	274	4.54	10.02	16.63	167	25.73	0.154
777	12.9	20200	337	17.9	1.253	0.098							
894	14.9	25200	420	22.1	1.547	0.104							
939	15.6	26600	443	23.2	1.624	0.104	330	5.50	12.09	17.24	208	59.95	0.278
985	16.4	27300	455	23.8	1.666	0.101							
				Moyenne...............		0.098							

Expériences faites sur un ventilateur insufflant du système Lloyd, construit par MM. J.-F. Caïl et Cie. — 10 avril 1861.

NOMBRE de tours du ventilateur en 1'.	NOMBRE de tours du ventilateur en 1''. N	DISTANCE de l'anémomètre au ventilateur.	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1'.	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1''.	VITESSE moyenne de l'air en 1''. V	VOLUME D'AIR insufflé en 1''. Q	RAPPORT du volume d'air insufflé au nombre de tours. $\frac{Q}{N}$
3e *Série*. — La longueur du tuyau de refoulement est de 6m.00.							
					m.	m.	m.
169	2.81	6.00	4150	69	4.29	0.300	0.106
172	2.87		4300	72	4.45	0.311	0.108
174	2.90	3.15	4450	74	4.55	0.318	0.109
180	3.00		4550	76	4.65	0.325	0.108
231	3.85	6.00	5800	97	5.71	0.398	0.103
237	3.95		6100	102	5.97	0.418	0.103
229	3.81	3.15	5900	98	5.76	0.403	0.106
231	3.85		5950	99	5.81	0.407	0.106
297	4.95	6.00	7700	128	7.28	0.509	0.102
306	5.10		8000	133	7.54	0.528	0.103
309	5.15	3.15	8300	138	7.79	0.545	0.105
297	4.95		7900	131	7.44	0.521	0.105
480	8.00	6.00	11200	187	10.27	0.719	0.089
457	7.61		11000	183	10.07	0.705	0.092
469	7.81	3.15	11200	187	10.27	0.719	0.093
469	7.81		11200	187	10.27	0.719	0.093
514	8.57	6.00	12000	200	10.93	0.765	0.089
706	11.78		16800	280	14.99	1.049	0.089
					Moyenne.................		0.100

29. *Discussion des résultats consignés dans les tableaux précédents.* — La représentation graphique des résultats, ainsi que le calcul, montrent que, dans ces trois séries d'expériences, les volumes d'air insufflés Q sont dans un rapport sensiblement constant avec les nombres de tours N du ventilateur.

La 1re série a donné pour le rapport, la valeur $\frac{Q}{N} = 0,098$

La 2e série — — $\frac{Q}{N} = 0,098$

La 3e série — — $\frac{Q}{N} = 0,100$

Dans cette dernière série, le tuyau n'avait que 6m.00 de longueur, tandis que pour les deux premières il avait 26m.00.

Il y a d'ailleurs lieu de remarquer, comme nous l'avons déjà dit, que les indications de l'anémomètre ont été les mêmes, soit qu'il ait été placé à l'extrémité ouverte du tuyau, soit qu'il fût à diverses distances dans son intérieur.

Il convient aussi d'observer que si la 3e série, où le tuyau de refoulement n'avait que 6m.00 de longueur, a fourni pour le rapport $\frac{Q}{N}$ une valeur un peu supérieure à celle des deux premiers, où ce tuyau avait 26m.00, la différence est assez faible pour qu'on puisse en faire abstraction.

En résumé, ces expériences montrent que pour des vitesses du ventilateur comprises entre 170 et 985 tours en 1′ lorsque le tuyau de refoulement était complétement ouvert, le rapport du volume d'air insufflé au nombre de tours du ventilateur a eu pour valeur

$$\frac{Q}{N} = 0,098.$$

30. *Comparaison des volumes engendrés par le ventilateur avec les volumes d'air refoulés.* — D'après les dimensions des ailettes de ce ventilateur, dont la surface, en forme de trapèze allongé et courbe, est de $0^{mq}.02247$, et dont le centre de gravité est à $0^{m}.240$ de l'axe de rotation, il est facile de voir que le volume engendré par une palette, dans un tour du ventilateur, est

$$6.28 \times 0^{m}.24 \times 0^{mq}.02247 = 0^{mc}.0337.$$

Par conséquent, le volume Q_1 engendré par cette palette ou par le ventilateur dans un nombre N de tours par minute sera

$$Q_1 = 0^{mc}.0337\ N.$$

Mais nous venons de voir que le volume d'air Q insufflé par le ventilateur avait pour expression

$$Q = 0,098\ N.$$

Donc, le rapport du volume d'air insufflé au volume engendré par le ventilateur, est

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{0,098}{0,0337} = 2,90.$$

Ainsi, le volume d'air insufflé par le tuyau de refoulement de

ce ventilateur est égal à 2.90 fois celui qui est engendré par le ventilateur.

Ce résultat est analogue à celui que l'on a obtenu au n° 24 avec le ventilateur aspirant, et doit aussi être attribué à l'action de la force centrifuge. Mais ici il est encore plus sensible, parce que, dans le cas actuel, non-seulement la force centrifuge tend à accroître le volume d'air qui passe par le ventilateur, mais encore le travail moteur, ou, ce qui revient au même, la force vive qui a été imprimée à l'air au moment où il quitte les ailettes, est en partie utilisée pour refouler et pousser cet air dans le tuyau d'évacuation, tandis que dans le ventilateur aspirant de Lloyd, l'air s'échappant directement emportait en pure perte cette force vive dans l'espace.

Il résulte donc de cette comparaison, qu'à l'inverse de ce qui a lieu pour les ventilateurs à hélices, il y a avantage, quant au volume d'air déplacé, à employer les ventilateurs à ailettes courbes du système Lloyd, en les faisant fonctionner par insufflation plutôt que par aspiration.

31. *Expériences dynamométriques.* — Les expériences de ce genre sur des appareils auxquels un mouvement rapide est transmis par des courroies, exigent des précautions particulières pour que des glissements partiels n'occasionnent pas d'erreurs graves dans l'appréciation des chemins parcourus, et par suite dans le travail moteur accusé par le dynamomètre. A cet effet, un compteur particulier a été mis en rapport avec le ventilateur, et un autre avec le dynamomètre.

Dans la 2[e] série d'expérience, dont les résultats ont été rapportés au n° 27, l'on en a fait quelques-unes avec le dynamomètre de rotation, pour reconnaître le rapport de l'effet utile mesuré par la moitié de la force vive imprimée à l'air au travail moteur.

L'examen des résultats de ces expériences, où les vitesses du ventilateur ont varié de 447 à 777 tours à la minute, montre que, pour ce ventilateur, le rendement mécanique semble croître avec la vitesse. De 434 à 505 tours en une minute, il a varié de 0.111 à 0.137, et vers 732 à 777 tours, il s'est élevé à 0.170 ou 0.154.

La vitesse ordinaire des ventilateurs étant de 700 à 800 tours en 1', il semble résulter de ces expériences qu'alors le ren-

dement du ventilateur dont il est ici question s'élèverait, dans des circonstances analogues, en moyenne, à 0.160 du travail moteur.

Peut-être même, pour des vitesses plus grandes, serait-il encore plus considérable.

Dans les mêmes circonstances, et avec la même longueur de tuyau de 26.^{m}00, le ventilateur de Lloyd, employé à l'aspiration, nous avait fourni un rendement égal à 0.120 au plus.

Par conséquent, sous le rapport de l'utilisation du travail, comme sous celui du rendement en volume, il y a avantage à employer le ventilateur de Lloyd, et généralement les ventilateurs à aubes courbes à l'insufflation plutôt qu'à l'aspiration.

VENTILATEURS A PALETTES PLANES.

32. *Expériences sur un ventilateur à palettes planes.* — Le Con-

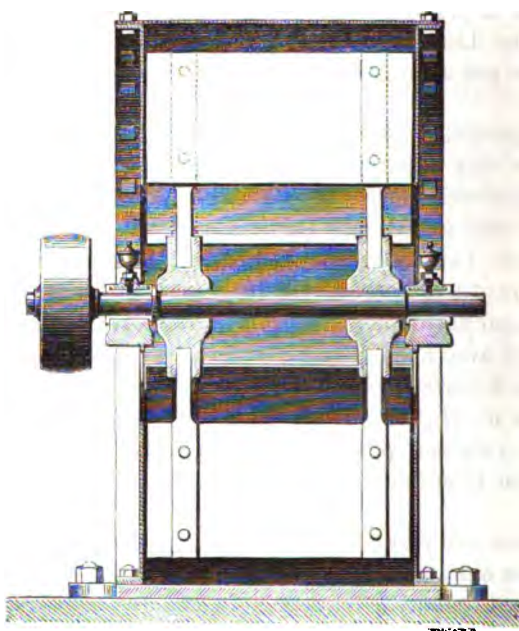


Fig. 9.

servatoire possède un ventilateur à palettes planes, à enveloppe cylindrique de 0^{m}.750 de diamètre intérieur. La circonférence ex-

térieure des palettes a $0^m.67$ de diamètre. Ces palettes ont $0^m.33$ de largeur, pareillement à l'axe, et $0^m.18$ dans le sens du rayon. Il n'est par conséquent pas excentré dans son enveloppe, comme l'indique la coupe ci-contre, et entre la circonférence extérieure des palettes et l'enveloppe, il y a un jeu moyen de $0^m.040$.

La surface d'une palette est, d'après ces dimensions, égale à $0^m.33 \times 0^m.18 = 0^{mq}.0594$. Leur centre est à $0^m.49$ de l'axe, et, par conséquent, le volume engendré par chacune d'elles dans une révolution, est

$$6.28 \times 0^{mc}.49 \times 0^{mq}.0594 = 0^{mc}.0914.$$

Des expériences analogues à celles qui ont été exécutées sur les ventilateurs dont nous nous sommes occupés précédemment, ont été faites sur ce ventilateur insufflant. Le tuyau de refoulement a eu $20^m.00$ et $28^m.00$ de longueur.

Les vitesses d'écoulement de l'air ont été mesurées à $8^m.00$ du ventilateur, et à l'extrémité du tuyau, qui était le même que dans les expériences précédentes, et dont la section transversale était de $0^{mq}.07$.

Le travail moteur nécessaire pour faire marcher le ventilateur a été mesuré pour différentes vitesses.

L'on a comparé, comme précédemment, le volume d'air refoulé au nombre de tours du ventilateur et au volume engendré par cet appareil, et l'on a aussi déterminé le rapport de l'effet utile, mesuré par la moitié de la force vive possédée par l'air à sa sortie au travail moteur, ce qui constitue le rendement de l'appareil au point de vue mécanique.

Les résultats de ces comparaisons sont consignés dans les tableaux suivants.

La tare de l'anémomètre employé a donné, pour déterminer la vitesse de l'air, la formule

$$V = 0^m.80 + 0.05067\ N.$$

Expériences sur un ventilateur à palettes planes. — (1[re] Série.)

NOMBRE de tours du ventilateur		NOMBRE de tours de l'anémomètre		VITESSE correspondante de l'air en 1″.	VOLUME D'AIR insufflé en 1″. Q	RAPPORT du volume d'air insufflé au nombre de tours $\frac{Q}{N}$	VOLUME engendré par le ventilateur Q_1	RAPPORT du volume Q et Q_1 ou rendement en volume $\frac{Q}{Q_1}$
en 1′.	en 1″. N	en 1′.	en 1″.					
				m.	mc.		mc.	
342	5.7	8900	148	8.29	0.580	0.102	0.521	1.113
351	5.8	9350	156	8.70	0.609	0.105	0.530	1.149
450	7.5	10400	173	9.56	0.669	0.089	0.685	0.976
460	7.6	10900	181	9.97	0.697	0.092	0.695	1.003
520	8.6	11800	196	10.73	0.751	0.087	0.786	0.955
528	8.8	11800	196	10.73	0.751	0.085	0.804	0.934
626	10.4	14100	235	12.70	0.889	0.085	0.950	0.935
640	10.7	14600	243	13.11	0.918	0.086	0.978	0.939
664	11.0	14400	240	12.96	0.907	0.082	1.005	0.902
680	11.3	17400	290	15.49	1.084	0.096	1.033	1.049
872	14.5	25200	420	22.08	1.545	0.106	1.325	1.165
872	14.5	24800	413	21.72	1.520	0.104	1.325	1.146
		Moyennes.................				0.094		1.022

33. *Conséquences des résultats contenus dans le tableau précédent.*— L'on voit, par ce tableau, que le volume d'air insufflé par le ventilateur est proportionnel au nombre de tours de l'appareil, et que la valeur du rapport de ces quantités étant en moyenne 0[m].094, l'on a pour le volume d'air insufflé

$$Q = 0^{mc}.094\,N,$$

Q et N étant rapportés à la même unité de temps.

D'une autre part, le volume Q_1 engendré par le ventilateur ou par l'une de ses palettes, et le volume d'air insufflé, sont aussi dans un rapport constant qui est

$$\frac{Q}{Q_1} = 1.022.$$

De sorte que, connaissant les dimensions du ventilateur, et, par suite, le volume qu'il engendre par tour, l'on peut facilement calculer le volume d'air que ce ventilateur est capable d'insuffler pour un nombre de tours donné.

34. *Comparaison du ventilateur Lloyd et du ventilateur à palettes*

planes employé à l'insufflation.— Si l'on se rappelle que le rapport du volume d'air insufflé et du volume engendré par le ventilateur à palettes courbes de Lloyd, du modèle de MM. Cail, était

$$\frac{Q}{Q_1}=2.90,$$

tandis que, pour le ventilateur à ailes planes qui nous occupe, il n'est que

$$\frac{Q}{Q_1}=1.022,$$

l'on voit que, sous le rapport du rendement en volume, le ventilateur de Lloyd est bien supérieur au ventilateur à ailes planes.

35 2e *Série d'expériences.* — Les expériences précédentes ont été répétées dans les mêmes conditions, mais en donnant au tuyau de refoulement la longueur de 28m.00, comme dans celles qui avaient été exécutées antérieurement avec le ventilateur à hélices.

Dans cette seconde série, les observations ont été faites en plaçant l'anémomètre d'abord à l'extrémité du tuyau, c'est-à-dire à 28m.00 de l'axe du ventilateur, puis on les a répétées en mettant cet instrument dans le tuyau, à 8m.00 de l'axe du ventilateur.

Dans le premier cas, l'on a aussi fait quelques expériences dynamométriques. Enfin, l'on a observé les dénivellations produites par le courant d'air sur des tubes manométriques, dont la branche intérieure au tuyau était dirigée parallèlement au courant d'air, et offrant son orifice d'entrée à l'action de ce courant; l'on a aussi observé les dénivellations produites sur un autre tube semblable, dont la branche intérieure était perpendiculaire à l'axe du tuyau.

Les résultats des observations sur les volumes et sur la puissance motrice sont consignés dans le tableau suivant :

Expériences sur un ventilateur à palettes planes. — (2[e] *Série.*)

NOMBRE de tours du ventilateur		NOMBRE de tours de l'anémomètre		VITESSE moyenne de l'air en 1".	VOLUME d'air insufflé en 1". Q	RAPPORT du volume d'air insufflé au nombre de tours $\frac{Q}{N}$	VOLUME engendré par le ventilateur en 1". Q_1	RAPPORT des volumes Q et Q_1 ou rendement en volumes.	TRAVAIL MOTEUR en 1".	RENDEMENT mécanique ou effet utile.
en 1'	en 1". N	en 1'.	en 1".							
L'anémomètre étant placé à 28[m] de l'axe du ventilateur $A = A_1 = 0^{mq}.07$.										
				m.	mc.		mc.		km.	
440	7.33	12100	201.6	10.82	0.757	0.103	0.670	1.129		
438	7.30	12300	205.0	11.10	0.777	0.106	0.667	1.165	58	0.110
500	8.33	14200	236.6	12.59	0.881	0.106	0.761	1.158		
520	8.67	14600	243.3	12.93	0.905	0.104	0.792	1.142	77	0.130
660	11.00	17600	293.3	15.45	1.081	0.098	1.005	1.075	119	0.144
664	11.67	17600	293 3	15.45	1.081	0.098	1.067	1.013		
848	14.13	21000	350.0	18.31	1.282	0.090	1.291	0.909	190	0.150
860	14.33	20800	347.7	18.20	1.274	0.089	1.310	0.972		
				Moyennes..........		0.099		1.070		0.141
3[e] *Série.*— L'anémomètre étant placé à 8[m] de l'axe du ventilateur $A = 0^{mq}.07$.										
444	7.40	12600	210.0	11.25	0.787	0.106	0.676	1.164		
440	7.33	11800	196.7	10.58	0.741	0.101	0.670	1.106		
496	8.26	13400	223.3	11.92	0.834	0.101	0.755	1.105		
552	8.90	14500	241.6	12.84	0.899	0.101	0.813	1.106		
524	8.73	13900	231.6	12.34	0.864	0.099	0.798	1.083		
644	10.73	17600	293.3	15.45	1.081	0.100	0.981	1.102		
680	11.33	18200	303.3	15.96	1.117	0.099	1.035	1.079		
784	13.06	20400	340.0	17.81	1.247	0.094	1.196	1.047		
752	12.53	19200	320.0	16.21	1.134	0.045	1.190	0.990		
				Moyennes..........		0 099		1.088		

36. *Conséquences des résultats consignés dans le tableau précédent.* — Les résultats des deux séries présentent dans leur ensemble un accord remarquable tant entre elles qu'avec la première.

Ainsi l'on voit que la deuxième série, pour laquelle les vitesses ont été mesurées à l'extrémité du tuyau, a fourni entre les volumes d'air Q écoulés par seconde et les nombres de tours N faits par le ventilateur, un rapport sensiblement constant dont la moyenne générale est 0.099, de sorte que les résultats de cette série sont, quant aux volumes d'air, représentés par la formule :

$$Q \text{ en } 1'' = 0^{mc}.099\, N,$$

N étant le nombre de tours du ventilateur en 1".

La troisième série a fourni exactement la même valeur pour ce rapport, et par conséquent elle conduit à la même formule pratique.

La première série nous ayant donné la relation

$$Q \text{ en } 1'' = 0^{mc}.094 \text{ N en } 1''$$

l'on voit que ces trois séries sont parfaitement concordantes pour montrer que les volumes d'air insufflés sont, pour ce ventilateur comme pour tous ceux que nous avons étudiés précédemment, proportionnels aux nombres de tours faits par les ventilateurs quand les tuyaux de refoulement sont complétement ouverts.

37. *Relation des volumes d'air insufflés aux volumes engendrés par le ventilateur.* — Le volume d'air engendré par l'une des palettes du ventilateur étant par révolution égal à $0^{mc}.0914$, en calculant le volume engendré par le ventilateur en 1″, et le comparant au volume d'air insufflé Q, l'on a reconnu que le rapport de ces deux volumes était sensiblement constant.

La seconde série a fourni la valeur :

$$\frac{Q}{Q_1} = 1.070; \text{ la } 3^e \text{ a donné } \frac{Q}{Q_1} = 1.088,$$

tandis que la première nous avait donné :

$$\frac{Q}{Q_1} = 1.022.$$

Par conséquent, pour les ventilateurs à aubes planes dont les palettes ont, comme celui qui nous occupe, un jeu de $0^m.04$ dans le sens du rayon ou de 0.22 environ de leur largeur dans le sens du rayon, le rapport du volume d'air insufflé au volume engendré par les palettes a pour valeur moyenne :

$$\frac{Q}{Q_1} = 1.06.$$

Ces deux séries, comme la première, montrent donc que ces ventilateurs sont, sous le rapport du rendement en volumes, très-inférieurs au ventilateur de Lloyd à palettes courbes enveloppées, qui nous a donné pour le même rapport la valeur :

$$\frac{Q}{Q_1} = 2.90.$$

38. *Observation sur l'emplacement de l'anémomètre.* — Il n'est pas inutile de remarquer que dans la première et la seconde des séries d'expériences, l'anémomètre avait été placé à l'extrémité du tuyau de refoulement de l'air, et dans son intérieur, tandis que pour la troisième il a été introduit dans ce tuyau à $8^{m}.00$ seulement de l'axe du ventilateur, et que les résultats obtenus ont été sensiblement les mêmes dans les deux cas.

Cette concordance prouve que dans les ventilateurs de ce genre comme pour celui de Lloyd, les tourbillonnements qui se produisent, après que l'air a quitté les palettes, cessent à peu de distance de l'appareil, et qu'il n'y a pas d'inconvénient ou de risque d'erreur à placer l'anémomètre à quelques mètres en aval de l'axe.

39. *Rapport de l'effet utile du ventilateur au travail moteur, ou rendement mécanique du ventilateur.* — Les expériences dynamométriques ont été faites dans la deuxième série aux vitesses de 438, 520, 660 et 848 tours du ventilateur en 1', en prenant les précautions nécessaires pour s'assurer que la courroie motrice ne glissait pas. En comparant les quantités de travail moteur déduites de ces expériences, et qui ont été respectivement égales à

$$58^{km} \mid 77^{km} \mid 119^{km} \mid \text{et } 190^{km}$$

aux forces vives imprimées à l'air et qui avaient pour valeur

$$\frac{1.30}{19.62} Q V^2 = 6^{km}.34 \mid 10^{km}.03 \mid 17^{km}.19 \mid \text{et } 28^{km}.50$$

l'on a déterminé les rendements mécaniques de l'appareil. Ils ont été respectivement égaux à

0.110 0.130 0.144 0.150 .

Ces chiffres montrent, comme nous avons déjà eu l'occasion de le remarquer, que le rendement de ces ventilateurs croît avec la vitesse de leur marche, et que sous ce rapport il y a avantage à leur imprimer une grande vitesse.

L'on remarquera cependant que cet accroissement est assez lent, et que pour des vitesses comprises entre 500 et 860, il a été assez faible pour qu'entre ces limites l'on puisse prendre pour la valeur moyenne du rendement 0.141, moyenne arithmétique du rendement entre les limites.

D'après cela, le rendement des ventilateurs à ailes planes insuflants, analogues à celui que nous avons soumis aux expériences, serait égal aux 0.141 du travail moteur; sous ce rapport, il serait très-supérieur aux ventilateurs à hélices et un peu inférieur à celui des ventilateurs à aubes courbes et à enveloppes de Lloyd, qui a fourni pour ce rapport dans des limites analogues de vitesse un rendement moyennement égal à 0.160.

40. *Expériences faites sur les mêmes ventilateurs avec des orifices d'écoulement plus petits que la section transversale du tuyau.* — Après les expériences dont nous venons de faire connaître les résultats, nous en avons exécuté d'autres en faisant fermer l'extrémité du tuyau avec des plateaux en bois percés au centre d'orifices qui ont eu successivement le diamètre de $0^{m}.20$, $0^{m}.14$ et $0^{m}.081$, ou des aires égales à $0^{mq}.0314$, $0^{mq}.0154$, $0^{mq}.0051$.

L'anémomètre a été, comme pour les séries précédentes, placé successivement au débouché de l'orifice et à $8^{m}.00$ de l'axe du ventilateur. Il avait pour tare la formule :

$$V = 0^{m}.65 + 0.05047\,N.$$

Les résultats de ces observations sont consignés dans les tableaux suivants :

Expériences sur un ventilateur à palettes planes.

NOMBRE de tours du ventilateur en 1'	NOMBRE de tours du ventilateur en 1"	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1'	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1"	VITESSE moyenne de l'air en 1"	VOLUME d'air insufflé en 1" Q.	RAPPORT du volume d'air insufflé au nombre de tours $\frac{Q}{N}$	VOLUME engendré par le ventilateur en 1". Q_1	RAPPORT des volumes Q et Q_1 ou rendement en volumes.	TRAVAIL MOTEUR en 1".	RENDEMENT mécanique ou effet utile.
3e *Série*. Orifice de sortie de 0m.20 de diamètre, $A_1 = 0^{mq}.0314$.										
L'anémomètre étant placé à l'orifice à 28m.00 du ventilateur.										
				m.	m.				km.	
386	6.4[illegible]	15[illegible]00	251.[illegible]	[illegible].3[illegible]	0.419	[illegible].065	0.5[illegible]8	0.713		
388	6.4[illegible]	15[illegible]00	[illegible]	13.7[illegible]	0.432	0.067	0.[illegible]	0.731	[illegible]	[illegible]
480	8.00	18800	313.3	16.46	0.517	0.065	0.731	0.707	51	0.238
520	8.67	19000	316.7	16.64	0.522	0.060	0.792	0.659		
520	8.67	19200	320.0	16.80	0.527	0.061	0.792	0.659		
600	10.00	23000	383.3	19.98	0.627	0.063	0.914	0.685		
616	10.27	23000	383.3	19.98	0.627	0.061	0.939	0.669	80	0.322
820	13.67	33400	556.7	28.75	0.908	0.068	1.249	0.725	144	0.420
840	14.00	32800	546.7	28.24	0.887	0.063	1.280	0.693		
					Moyennes	0.065		0.693		
L'anémomètre étant placé à 8m.00 du ventilateur $A = 0^{mq}.07$.										
414	6.90	7200	120.0	6.71	0.460	0.068	0.631	0.743		
416	6.93	7200	120.0	6.71	0.469	0.068	0.633	0.740		
520	8.67	8700	145.0	7.97	0.558	0.064	0.792	0.704		
580	9.67	9680	161.3	8.79	0.615	0.064	0.884	0.696		
648	10.80	11200	186.7	10.07	0.705	0.065	0.987	0.714		
816	13.60	14400	260.0	12.76	0.893	0.066	1.243	0.718		
816	13.60	14400	240.0	12.76	0.893	0.066	1.243	0.718		
					Moyennes	0.0[illegible]		0.733		
4e *Série*. Orifice de sortie de 0m.140 de diamètre, surface $A_1 = 0^{mq}.0154$.										
L'anémomètre étant placé à l'orifice à 28m.00 du ventilateur.										
376	6.26	15800	263.3	13.94	0.215	0.034	0.572	0.376		
384	6.40	16000	266.7	14.10	0.217	0.034	0.545	0.371		
500	8.33	20600	343.3	17.98	0.277	0.033	0.761	0.364		
508	8.46	20800	346.7	18.15	0.279	0.033	0.773	0.361	49	0.127
628	10.46	24400	406.7	21.18	0.326	0.031	0.956	0.341	78	0.2[illegible]
632	10.53	25200	420.0	21.85	0.336	0.032	0.962	0.349		
764	12.40	33600	560.0	28.91	0.445	0.036	1.133	0.392		
808	13.46	35000	583.3	30.59	0.471	0.035	1.334	0.353	131	0.337
					Moyennes	0.033		0.363		
L'anémomètre étant placé à 8m.00 de l'axe du ventilateur $A = 0^{mq}.07$.										
414	6.90	3300	55.0	3.42	0.239	0.034	0.631	0.379		
428	7.13	3400	56.6	3.49	0.244	0.034	0.651	0.375		
620	10.33	5500	91.6	5.27	0.369	0.036	0.944	0.399		
638	10.63	5600	93.3	5.36	0.375	0.035	0.971	0.386		
800	13.33	7400	123.3	6.87	0.481	0.036	1.218	0.394		
804	13.40	7600	126.7	7.04	0.493	0.036	1.261	0.399		
					Moyennes	0.035		0.388		

Expériences sur un ventilateur à palettes planes.

NOMBRE de tours du ventilateur en 1'.	NOMBRE de tours du ventilateur en 1''.	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1'.	NOMBRE de tours de l'anémomètre en 1''.	VITESSE moyenne de l'air en 1''.	VOLUME D'AIR insufflé en 1''. Q	RAPPORT du volume d'air insufflé au nombre de tours $\frac{N}{Q}$	VOLUME engendré par le ventilateur en 1''. Q_1	RAPPORT des volumes Q et Q_1, ou rendement en volume
5e *Série.* Orifice de sortie de $0^m.081$ de diamètre. Aire $A_1 = 0^{mq}.005$. L'anémomètre étant placé à l'orifice à $28^m.00$ du ventilateur.								
				m.	mc.			
392	6.63	15800	263.3	13.94	0.070	0.016	0.606	0.115
392	6.63	15800	263.3	13.94	0.070	0.016	0.606	0.115
400	6.67	18600	310.0	16.30	0.081	0.012	0.610	0.133
496	8.26	19840	330.6	17.33	0.087	0.011	0.755	0.115
504	8.40	19840	330.6	17.33	0.087	0.011	0.768	0.113
516	8.60	21600	360.0	18.82	0 094	0.010	0.786	0.119
624	10.40	22400	373 3	19.49	0.097	0.009	0.950	0.102
644	10.73	24000	400.0	20.84	0.104	0.010	0.981	0.106
644	10.73	26000	433.3	22.52	0.113	0.010	0.981	0.115
664	11.06	26800	446.7	23.19	0.116	0.010	1.011	0.114
L'anémomètre étant placé à $8^m.00$ de l'axe du ventilateur. Aire $A = 0^{mq}.07$.								
470	7.83	1620	27.0	2.01	0.140	0.019	0.548	0.255
480	8.00	1700	28.3	2.08	0.145	0.018	0.560	0.259
636	10.60	2550	42.5	2.79	0.195	0.018	0.742	0.261
650	10.83	2700	45.0	2.92	0.204	0.019	0.758	0.269
790	13.16	3600	60.0	3.68	0.257	0.019	0.921	0.279
794	13.23	3600	60.0	3.68	0.257	0.019	0.926	0.277
				Moyennes..........		0.019		0.267

41. *Conséquences des résultats consignés dans les tableaux précédents.* — Les résultats observés dans les trois séries d'expériences qui précèdent, et pour lesquelles l'orifice de l'extrémité du tuyau a présenté des aires de passage de plus en plus petites, montrent comme ceux des premières où le tuyau était complétement ouvert :

1° Que pour chaque ouverture d'orifice les volumes d'air insufflés sont proportionnels aux nombres de tours du ventilateur;

2° Que les volumes d'air insufflés sont dans chaque cas proportionnels aux volumes engendrés par les palettes du ventilateur.

Mais on reconnaît en même temps que ces deux rapports décroissent rapidement avec l'aire de l'orifice, de sorte que le ventilateur fournit d'autant moins d'air par tour et pour un même volume engendré par ses palettes, que l'orifice d'enroulement devient plus petit.

En réunissant pour les comparer toutes les valeurs des rapports $\frac{Q}{N}$ et $\frac{Q}{Q_1}$ trouvées dans chacune des cinq séries d'expériences, l'anémomètre étant placé dans l'intérieur du tuyau, l'on forme le tableau récapitulatif suivant des résultats obtenus :

Résumé des résultats des expériences sur le ventilateur à palettes planes.

NUMÉROS DES SÉRIES ET DIMENSIONS des orifices.	VALEUR DU RAPPORT $\frac{Q}{N}$ du volume d'air insufflé au nombre de tours. L'anémomètre étant placé à $8^m.00$ de l'axe du ventilateur dans le tuyau.	VALEUR DU RAPPORT $\frac{Q}{Q_1}$ du volume d'air insufflé au volume engendré par les palettes du ventilateur. L'anémomètre étant placé à $8^m.00$ de l'axe du ventilateur dans le tuyau.
2° $A = A_1 = 0^{mq}.07$	0.099	1.083
3° $A = 0^{mq}.07$, $A_1 = 0^{mq}.0314$	0.066	0.733
4° $A = 0.^{mq}07$, $A_1 = 0^{mq}.0154$	0.035	0.388
5° $A = 0^{mq}.07$, $A_1 = 0^{mq}.005$	0.019	0.267

L'on doit faire remarquer que dans la deuxième série l'orifice ayant la même section que le tuyau, il ne s'y produisait aucune contraction. Dans les trois autres, cette contraction ne pouvait être nulle, et cependant les volumes Q, déduits de l'observation de la vitesse à la sortie, sans tenir compte de la contraction et en multipliant simplement l'aire de l'orifice par la vitesse observée à l'anémomètre, sont sensiblement plus faibles que

ceux que l'on conclut des observations faites dans le tuyau à 8m.00 seulement de l'axe du ventilateur; tandis que si rien n'avait altéré l'exactitude des résultats, les volumes ainsi estimés à l'orifice de sortie auraient dû être supérieurs à ceux que l'on avait déduits des observations faites dans le tuyau dans le rapport de l'unité au coefficient de la contraction.

Il résulte de cette observation que, malgré la concordance apparente des résultats, les observations faites avec l'anémomètre placé dans la veine fluide après sa sortie présentent des chances d'erreur, soit par la position assez difficile à préciser que devait avoir l'anémomètre, soit très-probablement parce que cet instrument, placé dans la veine fluide qu'il rétrécissait toujours un peu, apportait à l'écoulement un obstacle dont l'influence devenait d'autant plus sensible que l'orifice était plus petit.

Ce qui rend cette dernière explication très-probable, ce sont les résultats de la cinquième série, où l'orifice n'avait que 0m.081 de diamètre, et qui, d'après les observations faites à l'orifice, n'a fourni pour les volumes Q ou pour les rapports $\frac{Q}{N}$ et $\frac{Q}{Q_1}$ que des valeurs peu supérieures à la moitié de celles qui, dans la même série, ont été déduites des observations faites dans le tuyau à 8m du ventilateur.

Il résulte de là que toutes les fois que l'anémomètre a des dimensions voisines de celles de l'orifice ou en général de la veine fluide dont on veut mesurer la vitesse, sa présence dans le courant peut former un obstacle qui, selon les rapports des dimensions, peut diminuer plus ou moins le volume de fluide écoulé.

En ce qui concerne les expériences dont nous discutons ici les résultats, il convient donc de se borner à prendre pour les orifices de section moindre que celle du tuyau les chiffres obtenus par les observations faites à 8m.00 de l'axe du ventilateur. C'est pourquoi nous n'avons inséré dans le tableau précédent que les valeurs déduites des observations faites à cette distance.

12. *Influence des dimensions de l'orifice sur le volume d'air insufflé.* — Les tableaux d'ensemble ou le tableau récapitulatif des

résultats des expériences montrent quelle énorme influence la grandeur de l'orifice exerce sur le volume d'air que peut fournir un ventilateur.

En représentant graphiquement les valeurs des rapports $\frac{Q}{N}$ et $\frac{Q}{Q_1}$ prises pour ordonnées, et les diamètres des orifices pris pour abscisses, le tracé paraît montrer que les rapports ou les volumes Q d'air insufflés seraient à peu près en raison inverse du diamètre des orifices; mais cette relation ne saurait être la loi réelle des résultats.

43. *Rapport de l'effet utile au travail moteur ou rendement mécanique.* — L'on a vu que dans la deuxième série, où l'extrémité du tuyau était complétement libre, le rendement moyen du ventilateur était égal à 0.140 du travail moteur.

Dans cette série, la vitesse finale de sortie de l'air était donnée avec l'approximation suffisante par l'observation faite à l'extrémité du tuyau à l'aide de l'anémomètre, et il était alors facile d'en déduire la force vive $\frac{1.30\,Q}{g}V^2$ qui avait été imprimée à l'air et dont la moitié constituait l'effet utile réel de l'appareil.

Mais les observations discutées au nº 40 ayant mis en évidence que dans le cas des orifices de section moindres que le tuyau, les vitesses observées à la sortie de ces orifices, à l'aide de l'anémomètre, étaient trop faibles, il n'est plus possible pour tous ces cas de prendre ces vitesses pour celles qui ont réellement lieu à la sortie et de les employer au calcul de la force vive imprimée à l'air insufflé par l'appareil. Il faut dès lors recourir à d'autres éléments.

Le volume d'air expulsé dans toutes les expériences nous est fourni avec l'exactitude désirable par les observations de la vitesse faites dans le tuyau à 8m.00 de l'axe du ventilateur, et dans chaque série nous avons trouvé qu'il existait entre ce volume et le nombre de tours de l'appareil en 1″ un rapport constant $\frac{Q}{N} = K$ dont nous avons pu déterminer la valeur moyenne.

A l'aide de ces données de l'expérience, il nous est facile de

trouver pour chaque série la valeur au moins approximative de la force vive possédée par l'air à sa sortie.

En effet, cette force vive a pour expression :

$$\frac{1.30\,Q}{g} V_1.$$

En admettant, ce qui est à très-peu près exact, comme on le verra plus loin, que la densité ou le poids du mètre cube de l'air s'éloigne peu de 1k.30, et en appelant V_1 la vitesse moyenne avec laquelle il sort de l'orifice, m le coefficient de la contraction auquel nous croyons pouvoir attribuer sans erreur notable les valeurs $m = 0.90$, $m = 0.85$, $m = 0.80$, pour les orifices de 0m.200, 0m.140, 0m.081 du diamètre,

l'on a $Q = AV = m\,A_1 V_1$ et $\frac{Q}{N} = K$ ou $Q = NK$, d'où l'on tire $V_1 = \frac{Q}{m\,A_1} = \frac{NK}{m\,A_1}$.

Par conséquent, l'expression de la force vive peut être mise sous la forme :

$$\frac{1.30}{g} QV^2 = \frac{1.30}{g} \frac{N^3K^3}{(m\,A_1)^2}$$

donc la moitié

$$\frac{1.30}{19.62} \frac{N^3K^3}{(m\,A_1)^2} = 0.0663 \frac{N^3K^3}{(m\,A_1)^2}$$

représentera l'effet utile qu'il s'agit de comparer au travail moteur nécessaire pour faire marcher l'appareil à la vitesse de N tours en 1″, ou de produire un volume d'air $Q_1 = NK$ dans le même temps.

Par conséquent, si l'on appelle T le travail moteur employé à faire marcher l'appareil, le rendement de la machine sera exprimé par le rapport

$$\frac{0.0663\,N^3K^3}{T.\,(m\,A_1)^2} = K'$$

que nous désignerons par K'.

L'on pourra donc, à l'aide de cette formule, déterminer le rendement de la machine pour les diverses ouvertures de l'orifice qui termine le tuyau, au moyen des seules observa-

tions faites à 8 mètres du ventilateur et des valeurs de l'aire A_1 de ces orifices, ainsi que du coefficient m de la contraction à la sortie, dont la valeur présente, il est vrai, quelque incertitude.

Mais l'on ne saurait se dissimuler que, dans les applications que l'on peut faire de cette formule, la valeur un peu incertaine qu'il convient d'attribuer au coefficient de contraction m, qui entre à la deuxième puissance au dénominateur, n'exerce une influence qui jette sur les résultats un doute que ne présentent pas celles qui ont été faites avec le tuyau de refoulement complétement ouvert.

Ce n'est donc que comme résultats généraux d'appréciation que nous reproduisons ici les valeurs du rendement K', fournies par les expériences dynamométriques faites sur ce ventilateur à palettes planes, refoulant de l'air dans un tuyau de 28 mètres de longueur, terminé par des orifices d'ouvertures différentes, en y comprenant les résultats précédents relatifs au cas où le tuyau était complétement ouvert.

La vitesse du ventilateur exerçant sur la valeur du rendement K' une influence sensible, nous l'avons introduite dans le tableau suivant.

Valeurs du rapport de l'effet utile au travail moteur du ventilateur à palettes planes pour diverses ouvertures d'orifice.

	NOMBRE DE TOURS du ventilateur en 1''.	RENDEMENT
2e Série.	$A = A_1 = 0^{mq}.07$	$m = 1.00$
	7.30	0.109
	8.67	0.130
	11.60	0.144
	14.13	0.150
3e Série.	$A = 0^{mq}.07$ $A_1 = 0^{mq}.0314$	$m = 0.9$
	6.47	0.154
	8.00	0.238
	10.27	0.322
	13.67	0.420
4e Série.	$A = 0^{mq}.07$ $A_1 = 0^{mq}.0154$	$m = 0.85$
	8.46	0.127
	10 46	0.262
	13.46	0.337

Ce tableau, malgré les soins apportés aux expériences, prouve combien il est difficile d'arriver à des résultats exacts dans des comparaisons où la vitesse exerce une si grande influence, et nous croyons devoir nous borner seulement à en conclure que, sous le rapport du rendement mécanique, l'effet des ventilateurs peut être jusqu'à certaines limites plus considérable quand le tuyau de refoulement est terminé par un orifice, plus petit que la section du tuyau quand il est libre.

Cet effet est analogue à celui que l'on observe dans les pompes foulantes dont le rendement croît avec la hauteur d'élévation de l'eau, par suite de l'influence décroissante des résistances passives inhérentes à l'appareil lui-même. (Voir la note A.)

Nous n'insisterons pas davantage sur ces derniers résultats relatifs aux ventilateurs, et nous résumerons dans le tableau suivant ceux qui sont relatifs au cas où le tuyau d'aspiration ou de refoulement était complétement ouvert, ce qui se rapporte plus directement aux études sur la ventilation, dont les recherches sur les ventilateurs ne sont qu'un point de vue particulier qu'il nous avait paru utile d'étudier pour examiner la valeur de certaines assertions trop légèrement admises sur l'effet de quelques-uns de ces appareils.

44. *Résumé des expériences précédentes sur les ventilateurs.* — L'ensemble des expériences qui précèdent peut être résumé ainsi qu'il suit :

		RENDEMENT DES VENTILATEURS	
		en volume.	en effet utile.
Ventilateur à hélices de M. Guérin	aspirant....	0.572	0.084
	refoulant...	0.334	0.039
Ventilateur Lloyd, à palettes courbes	aspirant....	1.400	0.120
	refoulant...	2.900	0.160
Ventilateur à palettes avec jeu de $0^m.04$, refoulant..		1.060	0.161

Ce résumé montre que, dans tous les cas étudiés, les ventilateurs à hélices sont inférieurs aux ventilateurs à palettes

courbes, pour l'aspiration comme pour le refoulement, et que, dans ce dernier cas, le simple ventilateur à palettes planes est préférable, sous le double rapport du rendement en volume et du rendement en effet utile, au ventilateur à hélices, contrairement à ce qui a été admis sans vérification par quelques ingénieurs.

En définitive, l'ensemble de ces expériences montre que la forme curviligne donnée aux palettes des ventilateurs et indiquée dès 1838 par M. Combes, membre de l'Institut, présente principalement, pour le refoulement de l'air, une supériorité qu'il importe de ne pas négliger; mais qu'en général les ventilateurs ne sont pas des appareils avantageux au point de vue de l'utilisation de la puissance motrice, surtout quand il s'agit simplement de faire mouvoir de l'air dans des tuyaux complétement ouverts à leur extrémité ou offrant un ensemble d'orifices de mêmes sections que la leur; ce qui est le cas des applications que l'on a faites jusqu'ici à la ventilation, en vue de laquelle nous nous sommes livré à ces recherches expérimentales.

EMPLOI DU MANOMÈTRE POUR LA MESURE DE LA VITESSE DES FLUIDES.

45. *Observations relatives à l'emploi du manomètre ou du tube de Pitot, pour la mesure de la vitesse des fluides.* — L'usage des anémomètres, outre la nécessité d'avoir à sa disposition un instrument dont la tare soit exacte et fréquemment vérifiée, présente, pour certains cas, des difficultés assez grandes et même des incertitudes, ainsi que nous avons eu l'occasion de le faire remarquer au nº 40.

Toutes les fois que les vitesses sont grandes et dépassent 30ᵐ.00 par seconde, les instruments, qui ne sont ordinairement construits que pour des observations où les vitesses y sont généralement inférieures, sont sujets à des accidents que nous avons éprouvés plusieurs fois, et quand, en outre, les orifices ou les sections des veines fluides sont assez faibles, ce qui arrive presque toujours alors, l'aire de projection de l'instrument sur un plan perpendiculaire à la direction de la veine fluide devient assez grande pour que la présence de cet instrument dans la veine soit susceptible d'altérer les résultats.

Il peut donc être utile et même nécessaire, dans des cas analogues, de recourir à un moyen d'observation plus simple, et que l'on puisse se procurer facilement.

Le tube de Pitot, ou le manomètre ordinaire à air libre, peuvent alors être employés, ainsi que l'ont fait plusieurs ingénieurs, si ce n'est comme instrument précis, au moins comme pouvant donner des résultats suffisamment exacts pour la pratique.

Sans vouloir entrer dans une discussion complète de la théorie et de l'application de ces appareils, nous nous bornerons à faire connaître quelques résultats, que, dans le cours des expériences précédentes sur les ventilateurs, nous avons eu l'occasion de constater.

46. *Formule théorique du tube de Pitot.* — Rappelons d'abord que, sous toutes les formes qu'on lui a données, le tube de Pitot, appliqué à la mesure de la vitesse de l'air, revient à un tuyau coudé à angle droit, présentant une branche horizontale à l'action du courant et une branche verticale, dans laquelle le fluide s'élève. Supposons d'abord le tube d'égal diamètre dans toute sa longueur, et sa branche horizontale dirigée exactement dans le sens de la vitesse d'un courant liquide, et que par l'effet de cette vitesse le niveau s'élève dans la branche verticale d'une hauteur H au-dessus de celui du courant, et qu'enfin le liquide contenu dans le tube soit aussi parvenu à un état d'équilibre à peu près stable.

Le liquide du courant venant sans cesse se présenter devant l'orifice antérieur du tube avec une vitesse V, le filet fluide dont la section est égale à celle A du tube, est arrêté dans son mouvement de transport dans ce sens, et perd ainsi une force vive MV^2, en nommant M la masse du filet fluide, affluant en 1″ avec la vitesse V, et dont la section transversale serait celle de l'intérieur du tube.

Or, on sait que si, à l'inverse de ce qui arrive ici, le fluide était entretenu dans le tube à une hauteur H au-dessus du niveau du courant par une affluence constante, et s'il s'écoulait librement par l'extrémité du tube sous l'action de la pesanteur, le travail développé par cette force aurait pour mesure MgH, et serait égal à la moitié $\frac{1}{2}MV^2$ de la force vive possédée par le liquide sortant.

Réciproquement, dans le cas actuel où la pesanteur du liquide soutenu au-dessus du niveau du courant est la résistance et où l'on peut, par la pensée, concevoir que, parvenu à la hauteur H, il se déverse dans une capacité latérale ou simplement déborde le tube limité à cette hauteur, il est clair que la force vive MV^2 du fluide affluent aura été employée à élever un poids Mg de ce fluide de la hauteur H, de sorte que l'on aura encore, d'après le principe des forces vives,

$$\tfrac{1}{2} MV^2 = MgH, \text{ ou}$$
$$V^2 = 2gH.$$

Par conséquent, l'observation de la hauteur H permettra de déterminer la vitesse V du fluide affluant à l'extrémité horizontale du tube par la formule ordinaire

$$V = \sqrt{2gH},$$

dans laquelle il doit être bien entendu que H est la hauteur d'une colonne de fluide de même densité que celui qui agit à l'extrémité horizontale du tube, ou que si le fluide contenu dans le tube était d'une densité différente, il faudrait multiplier la hauteur observée H par le rapport des densités du fluide intérieur et du fluide extérieur.

Le raisonnement qui précède s'applique évidemment de la même manière à ce qui se passerait dans un tube manométrique recourbé, soit qu'il plonge dans un liquide dont on veut observer la vitesse, et dont une partie pénètre dans le tube, comme l'a fait M. Darcy, soit qu'il contienne à son intérieur un liquide plus dense que le fluide sur lequel on opère, ainsi que cela avait lieu dans nos expériences.

47. *Résultats d'observations sur l'emploi des tubes manométriques pour la mesure de la vitesse de l'air.* — Pour constater par l'expérience la concordance qui peut s'établir entre les indications fournies par un tube manométrique et celles que donne l'anémomètre, nous avons procédé ainsi qu'il suit avec le ventilateur à palettes planes dont il a été parlé aux nos 31 et suivants.

Des manomètres, formés par un tube de verre recourbé dont la branche horizontale avait son extrémité antérieure effilée, ont été placés, dans le tuyau de refoulement de l'air, aux distances

de 3m.10 | 6m.50 | 9m.50 | 12m.70 | 15m.90 | et 27m.00 du ventilateur, dans la direction de l'axe et dans celle du courant, de manière à présenter leur orifice d'entrée à l'action de ce courant. L'on a observé les dénivellations produites dans ces tubes à différentes vitesses du ventilateur, et lorsque le tuyau de refoulement était soit complétement ouvert, soit terminé par les orifices des diamètres de 0m.200, 0m.140 et 0m.081 de diamètre.

En même temps, l'on notait les indications fournies par deux autres manomètres semblables, dont la branche horizontale débouchait aussi vers l'axe du tuyau, mais perpendiculairement à sa longueur, et dont l'un était à 3m.10 à l'aval du ventilateur, et l'autre à 27m.00.

Les observations faites avec les premiers tubes, quand le tuyau de refoulement était complétement ouvert, ont montré qu'à partir du ventilateur, la hauteur de dénivellation du liquide allait en diminuant avec continuité, ainsi qu'on peut le voir par les résultats suivants, obtenus à la vitesse de 848 tours du ventilateur, en 1'.

Distances du manomètre au ventilateur :

3m.10 | 6m.50 | 9m.50 | 12m.70 | 15m.90 | 27m.00.

Dénivellations :

0m.057 | 0m.048 | 0m.042 | 0m.039 | 0m.034 | 0m.021.

La dernière dénivellation de 0m.021 étant celle qui correspondait à l'extrémité du tuyau, où l'on faisait l'observation de la vitesse, nous la prendrons plus tard pour terme de la comparaison des indications des manomètres et de l'anémomètre.

Dans ce cas, les manomètres placés perpendiculairement à l'axe du tuyau indiquaient des dénivellations bien différentes. Ainsi, celui qui était à 3m.10 du ventilateur ne donnait que 0m.013 de dénivellation, au lieu de 0m.057

observés avec le premier; différence, 0m.044

Celui qui était à 27m.00 du ventilateur accusait une dénivellation, du dehors au dedans, de 0m.029
tandis que le premier tube placé selon l'axe avait donné, de dedans en dehors, 0m.021

Différence, 0m.050

L'on voit, par ces chiffres, quelle énorme influence exerce l'emplacement du tube manométrique sur les indications qu'il peut fournir, et l'on reconnaît ici, conformément aux expériences de Venturi, et aux conséquences qu'en a déduites il y a longtemps M. Poncelet, qu'une ouverture ménagée dans un tuyau où circule par refoulement un courant d'air rapide, peut, selon qu'elle est placée en certains points, donner lieu à des sorties ou à des entrées d'air.

Dans toutes les autres expériences faites avec le même ventilateur, lorsque l'orifice du tuyau de refoulement était terminé par des orifices de section moindre, les effets étaient tout différents par suite de l'obstacle apporté par la diminution de l'orifice au libre écoulement du fluide, la pression dans le tuyau de refoulement devenait à très-peu près constante sur toute son étendue, et sa valeur moyenne augmentait avec la vitesse du ventilateur. C'est ce que montre le tableau suivant, où sont réunis les résultats de ces dernières observations.

Expériences sur les dénivellations observées dans les manomètres placés selon l'axe du tuyau, et opposés au courant fluide.

NOMBRE DE TOURS du ventilateur en 1'.	VITESSE DE L'AIR à la sortie.	DÉNIVELLATIONS indiquées par le manomètre selon l'axe du tuyau, aux distances de						Placé perpendiculairement à l'axe et aux distances de	
		3m.10	6m.50	9m.50	12m.70	15m.90	27m.00	3m.10	27m.00
		Orifice de 0m.20			$A_1 = 0^{mq}.0314$				
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
820	28.76	0.052	0.048	0.052	0.048	0.048	0.048	0.040	0.031
		Orifice de 0m.14			$A_1 = 0^{mq}.0154$				
384	14.12	0.009	0.009	0.012	0.014	0.015	0.014	0.010	0.011
508	18.16	0.012	0.011	0.020	0.020	0.020	0.022	0.017	0.018
632	21.84	0.027	0.026	0.030	0.027	0.028	0.033	0.026	0.031
808	30.57	»	0.054	0.057	0.054	0.055	0.055	0.050	0.052
		Orifice de 0m.081			$A_1 = 0^{mq}.0050$				
392	13.92	0.010	0.013	0.015	0.014	0.015	0.017	0.013	0.012
496	17.35	0.018	0.021	0.021	0.020	0.022	0.023	0.020	0.021
624	19.47	0.028	0.029	0.031	0.029	0.031	0.034	0 029	0.032

L'examen des résultats consignés dans ce tableau montre, comme nous l'avons dit plus haut, que, par suite de l'obstacle apporté par le rétrécissement du débouché du tuyau de refoulement, la dénivellation indiquée par le manomètre devient sensiblement la même dans toute l'étendue du tuyau. Elle est cependant généralement un peu plus forte vers son extrémité et près de l'orifice.

L'on remarquera aussi que cette dénivellation ou la vitesse dont elle donne, dans une certaine proportion, la mesure, paraît dépendre assez peu de la dimension de l'orifice, à vitesse égale du ventilateur.

Ainsi elle varie de 0m.052 à 0m.048 pour l'orifice de 0m.20 de diamètre à la vitesse de 820 tours du ventilateur, et de 0m.057 à 0m.054 pour l'orifice de 0m.140 de diamètre à la vitesse de 808 tours.

De même, elle est comprise entre 0m.026 et 0m.030 pour l'orifice de 0m,140 de diamètre à la vitesse de 632 tours en 1', et entre 0m.029 et 0m.034 pour l'orifice de 0m.081 de diamètre à la vitesse de 624 tours en 1'.

Cette dénivellation déterminant la vitesse de sortie de l'air, ces résultats expliquent comment le volume d'air fourni par un ventilateur décroît, à vitesse égale, avec l'orifice de sortie, et comment les dénivellations ou les pressions produites par ces appareils sont renfermées dans des limites assez restreintes.

48. *Comparaison des vitesses déduites des deux modes d'observation.* — Passons à l'objet principal de ces observations, et voyons si les indications des manomètres peuvent, dans quelques cas et avec une exactitude suffisante, servir à calculer la vitesse de l'air.

Remarquons d'abord que le liquide contenu dans les tubes étant de l'eau, dont la densité est moyennement à celle de l'air dans le rapport de 1000 à 1.3 ou de 769.2 à 1.00, pour déduire de nos observations la vitesse de l'air correspondante aux dénivellations qu'elles indiquent, il faut multiplier celles-ci par 769.2, ce qui nous fournira la hauteur de la colonne d'air capable de produire la même pression, et par suite la même vitesse. L'on doit faire attention que les dénivellations ne pouvant être observées qu'avec une approximation assez grossière et étant tou-

jours limitées à quelques millimètres, l'erreur que l'on peut commettre en est une fraction assez notable et est de nature à influer beaucoup sur les résultats.

Il paraît d'ailleurs convenable de prendre pour élément du calcul la dénivellation observée à l'extrémité du tuyau avec le manomètre, dont la branche horizontale était placée dans l'axe et dans le sens de l'arrivée de l'air.

Les résultats de ce calcul pour les différents cas observés sont réunis dans le tableau suivant.

Comparaison des vitesses observées à l'anémomètre et de celles que l'on déduit des dénivellations.

AIRE de l'orifice.	NOMBRE de tours du ventilateur en 1'.	HAUTEUR de dénivellation exprimée en colonne		VITESSE DE L'AIR		DIFFÉRENCE.	ERREUR proportionnelle.
		d'eau.	d'air.	calculée.	observée.		
mq		m.	m.	m.	m.		
0.0700	848	0 021	16.91	18.21	18.16		
0.0314	820	0.048	36.92	26.91	28.76	+1.86	$\frac{1}{15.4}$
0.0154	384	0.014	10.77	14.54	14.12	—0.40	$\frac{1}{35.3}$
	508	0.022	16.93	18.23	18.16	—0.34	$\frac{1}{53.4}$
	632	0.033	25.38	22.31	21.84	—0.46	$\frac{1}{43.1}$
	808	0.055	42.30	28.81	30.57	+1.77	$\frac{1}{17.2}$
0.0050	392	0.017	13.08	16.12	13.92		
	496	0.023	17.69	18.63	17.35		
	624	0.034	26.15	22.65	19.47		

49. *Conséquences des résultats contenus dans le tableau précédent.* — La comparaison des vitesses observées directement avec l'anémomètre, avec celles que l'on déduit des dénivellations accusées par le manomètre, montre qu'il y a accord parfait entre ces deux modes d'appréciation, dans le cas où le tuyau de refoulement était complétement ouvert.

Quant aux deux séries d'expériences où le tuyau était terminé par des orifices de $0^{mq}.0314$ et $0^{mq}.0154$ de surface, l'accord, sans être aussi satisfaisant, l'est encore bien assez pour la pratique; car les différences, tantôt en plus, tantôt en moins, ne s'élèvent pas

au-dessus de $\frac{1}{15}$ de la vitesse observée, et restent le plus souvent beaucoup au-dessous.

La dernière série où l'orifice n'avait que $0^{mq}.005$ de surface ou $\frac{1}{14}$ de la section du tuyau nous fournit, pour des vitesses déduites des indications du manomètre, des valeurs très-notablement supérieures à celles qui ont été observées; mais l'on doit se rappeler que nous avons déjà reconnu au nº 40 que les observations des vitesses faites directement avec l'anémomètre dans la veine fluide avaient fourni des résultats inexacts et beaucoup trop faibles, qui présentaient de l'incertitude par suite de la présence d'un anémomètre de dimensions à peu près égales à celles de la veine fluide elle-même.

50. *Conclusions.* — En résumé, sans prétendre attribuer aux observations précédentes plus de précision qu'il ne convient, ni même rien indiquer de neuf aux ingénieurs qui connaissent l'usage de ces instruments, nous pensons que, dans les cas où l'on n'aura pas à sa disposition un anémomètre bien taré, susceptible de mesurer des vitesses de l'air de $15^m.00$ en 1″ et au delà, l'on pourra, pour les observations à faire sur des courants d'air rapides, se servir de manomètres à eau et déduire des dénivellations qu'ils indiqueront la vitesse de l'air, en procédant comme nous l'avons fait ci-dessus.

A. — *Note sur l'utilisation du travail moteur dans les pompes et dans les machines soufflantes.*

Sans entrer ici dans une discussion qui ne serait pas à sa place, il est facile de mettre en évidence la cause de cet accroissement du rendement mécanique des pompes et des ventilateurs.

En effet, dans ces pompes, en désignant par M la masse d'eau élevée et H la hauteur d'élévation, l'effet utile a pour mesure :

$$MgH^{km}.$$

Le travail moteur doit être égal à la somme des quantités de travail consommé :

1° Par l'effet utile MgH;

2° Par les pertes de force vive qui ont lieu à travers les différents passages et dont la somme peut être représentée par un terme de la forme KMV^2, K étant un coefficient numérique résultant des proportions de la pompe, et V la vitesse du piston ;

3° Par le travail F consommé par le frottement des organes de la machine;

4° Par le travail consommé par la résistance des parois et qui peut être représenté par un terme de la forme $K'\beta LV^3$, dans lequel K' est aussi un facteur numérique dépendant des proportions de la pompe, β le coefficient du frottement de l'eau dans les tuyaux, et V la vitesse du piston.

Par conséquent, le rendement de la pompe a pour expression générale :

$$\frac{MgH}{MgH + KMV^2 + F + K'\beta LV^3}.$$

Or, en supposant que le volume d'eau élevé ou sa masse M restent les mêmes, ainsi que la vitesse de marche de la machine et la longueur des tuyaux, qui ne dépend qu'assez peu de la hauteur d'élévation H, et en divisant les deux termes de ce rapport par la hauteur H d'élévation de l'eau, ce qui le ramène à la forme

$$\frac{Mg}{Mg + \frac{KMV^2}{H} + \frac{F}{H} + \frac{K'\beta LV^3}{H}},$$

il est clair que ce rapport doit augmenter, toutes choses égales d'ailleurs, avec la hauteur d'élévation H qui entre en diviseur dans trois des termes du dénominateur.

Pour les ventilateurs et les machines soufflantes il se produit des circonstances analogues.

L'effet utile est représenté par la moitié $\frac{1}{2}MV^2$ de la force vive imprimée à l'air.

Le travail moteur se compose :

1° De la même quantité $\frac{1}{2}MV^2$;

2° D'un terme de la forme KMV'^2, qui comprend toutes les pertes de force vive ou de travail qu'occasionnent les dispositions de l'appareil, et dans lequel V' est la vitesse du piston ou du ventilateur ;

3° D'un terme F exprimant la consommation de travail moteur occasionnée par les organes mêmes de la machine ;

4° D'un terme de la forme $K'\beta LU^3$, qui représente le travail consommé par la résistance que l'air éprouve de la part des parois.

Le rendement de la machine a donc pour expression :

$$\frac{\frac{1}{2}MV^2}{\frac{1}{2}MV^2 + KMV'^2 + F + K'\beta LU^3} = \frac{\frac{1}{2}V^2}{\frac{1}{2}V^2 + KV'^2 + \frac{F}{M} + \frac{K'\beta LU^3}{M}}$$

Or, dans cette expression, quand l'orifice de sortie diminue et que la pression augmente, la vitesse de sortie V augmente, et le numérateur croît comme son carré. Il en est de même du dénominateur ; mais le deuxième et le quatrième terme diminuent, attendu que l'expérience prouvant d'une manière incontestable que le rendement en volume pour un même nombre

de tours décroît rapidement avec l'orifice, les vitesses V' et U diminuent ainsi que la masse M de fluide écoulé, il en est de même de ces termes. Il n'y a que le terme $\frac{F}{M}$ qui augmente un peu; mais il n'a qu'une faible influence sur le résultat, attendu qu'il n'est relatif qu'aux frottements propres de la machine qui, dans les ventilateurs surtout, n'acquièrent jamais une grande valeur.

Ces considérations générales suffisent pour expliquer comment les ventilateurs, à l'aide desquels on se propose d'augmenter la pression de l'air et sa vitesse de sortie par le rétrécissement des sections d'écoulement, peuvent être très-désavantageux sous le rapport du volume d'air qu'ils fournissent, et au contraire donner un rendement favorable au point de vue de l'utilisation du travail moteur.

ALCALIMÉTRIE

NOUVEAU PROCÉDÉ DE DOSAGE

DES HYDRATES ET CARBONATES ALCALINS.

PAR M. PERSOZ.

Pour doser la quantité d'alcali renfermée dans les potasses du commerce, Vauquelin, en 1803, eut recours à l'emploi d'une solution titrée d'acide nitrique; le poids de cette liqueur nécessaire à la saturation d'une quantité donnée de potasse servait à calculer la proportion d'alcali carbonaté ou hydraté renfermée dans l'échantillon soumis à l'essai. Ce savant chimiste recommanda certaines précautions que nous allons décrire brièvement : la première, d'employer de l'acide nitrique au même degré de concentration et d'une force moyenne, afin d'arriver plus facilement au terme de la saturation, celui dont il se servait marquait 20 degrés AB et avait 1.165 de densité; la seconde, de titrer cet acide avec de la potasse à l'alcool bien sèche, car c'est de cette expérience préliminaire que dépendait l'exactitude de la méthode; il recommanda également de faire chauffer quelques instants la liqueur, afin que l'acide carbonique ne troublât pas les résultats.

Mais à cette solution d'acide nitrique difficile à obtenir à un degré de force constante, malgré les prescriptions de Vauquelin, Descroizilles eut l'idée, en 1806, de substituer une autre solution acide formée de 100 grammes d'acide sulfurique amené par l'ébullition à son maximum de concentration, étendu d'eau pour occuper un litre, parce que, disait-il, l'acide sulfurique se trouve partout à bon marché et dans un état de concentration identique. Le plus grand mérite de Descroizilles, en proposant cette nouvelle méthode, est d'avoir renoncé à la balance, pour adopter la burette alcalimétrique divisée en 100 parties ou degrés, dont chacun représente un demi-gramme d'eau distillée;

en d'autres termes, d'avoir supprimé les pesées toujours longues et sujettes à de nombreuses causes d'erreurs, surtout exécutées par des mains inhabiles, pour faire prévaloir le système si simple de l'évaluation en volume.

Le premier alcalimètre de Descroizilles consistait en un tube de verre de 20 à 25 centimètres de longueur et de 14 à 16 millimètres de diamètre, fermé par un bout et mastiqué sur un pied pour faciliter son usage; l'autre extrémité se terminait en une espèce d'entonnoir à bec adhérant au tube par un col de 5 millimètres à peu près d'ouverture, et il y avait sur l'épaule qui soutenait ce bec un trou pour la sortie et la rentrée de l'air. La manière d'opérer était très-simple : on pesait 10 grammes de la potasse à essayer et on les dissolvait dans un décilitre d'eau, puis on prenait la moitié de la dissolution, ce qui correspondait à 5 grammes de potasse, et on opérait la saturation à l'aide de la liqueur acide contenue dans l'alcalimètre, en se basant sur le changement de couleur du sirop de violettes; on lisait ensuite sur l'alcalimètre la quantité d'acide employée et on avait le titre alcalimétrique, c'est-à-dire la quantité d'acide sulfurique à 66 degrés que peuvent saturer 100 kilogrammes de potasse essayée. Une potasse est d'autant plus riche qu'elle sature une plus grande proportion d'acide; mais la méthode de Descroizilles ne donne pas immédiatement la quantité de potasse pure contenue dans les produits du commerce; on ne peut y arriver qu'à l'aide d'un calcul très-simple, il est vrai.

Gay-Lussac, en 1828[1], vint compléter l'œuvre commencée par Descroizilles : Aux données arbitraires qui avaient servi de point de départ à celui-ci, il en substitua de nouvelles basées sur les équivalents chimiques. La méthode volumétrique, pratiquée avec les soins et l'intelligence de cet illustre chimiste, donna des résultats tellement précis, qu'elle passa en même temps dans le domaine de la science et de l'industrie, et que, généralisée, elle fut bientôt appliquée avec un immense avantage au dosage d'un grand nombre de substances, notamment à celui de l'argent (essais par la voie humide).

Une soude ou une potasse du commerce, qui, outre les ma-

1. Essai des potasses du commerce. Gay-Lussac. (*Annales de chimie et de physique*, t. XXXIX, 1828.)

tières insolubles, les chlorures, les bromures et les sulfates, ne renferme que des carbonates ou hydrates alcalins, peut toujours être dosée par la méthode de Gay-Lussac avec une précision qu'il est difficile d'atteindre par d'autres moyens, pourvu toutefois que l'on observe exactement les précautions recommandées par cet éminent savant.

Cette méthode consiste à peser d'abord 48gr.07 de potasse au lieu de 4g.807, quantité d'alcali pur que peuvent exactement saturer 5 grammes d'acide sulfurique à 6°, et à les étendre d'eau, de manière à former un demi-litre, puis à opérer la saturation sur la dixième partie de la liqueur ou 50 centimètres cubes qui correspondent à 4g.807 de potasse. On peut ainsi faire plusieurs essais de suite. De plus, Gay-Lussac remplaça l'alcalimètre de Descroizilles, dont l'usage exigeait beaucoup d'habitude, par la burette qui porte son nom et qui est employée universellement aujourd'hui, divisée de la même manière et permettant de verser la liqueur acide goutte à goutte; il remplaça également le sirop de violettes par la teinture de tournesol, et employa, pour connaître le terme de la saturation, un papier imprégné de la même teinture pour arriver à une plus grande exactitude. Le nombre de degrés d'acide employé, moins 1 centième et autant de quarts de centième qu'on aura obtenu de traits d'un rouge persistant, sera le titre de la potasse ou de la soude essayée; c'est-à-dire la quantité p. 100 d'alcali pur qu'elle contient. D'après cela, une potasse quelconque essayée sous le poids de 4g.807 renfermera, au quintal métrique, autant de kilogrammes de potasse pure qu'elle saturera de centièmes d'acide, et ce nombre de kilogrammes sera son titre pondéral.

Depuis bien longtemps nous faisons usage du procédé de Gay-Lussac en le modifiant un peu quant à la quantité de matières à employer.

Ainsi, quelle que soit la nature de la base, soude ou potasse, on dissout 100 gr. de sel dans un litre d'eau et on prend encore 50 cent. cub. de la liqueur qu'on sature par la dissolution normale d'acide sulfurique, laquelle, au lieu d'être faite avec 100 gr. d'acide monohydraté par litre, est au contraire préparée avec 122gr.73; ce nombre est le cinquième de l'équivalent de l'acide sulfurique à 66°; on a ainsi la liqueur normale n° 1; en prenant 100c.c. de cette liqueur n° 1 et en l'étendant d'eau de manière à

former 1 litre, on obtient la liqueur normale n° 2; enfin, en étendant à 1 litre 100$^{c.c.}$ de cette dernière, on a la liqueur normale n° 3 10 fois plus faible que la liqueur n° 2, et 100 fois plus faible que celle n° 1. Le cinquième de l'équivalent est l'unité que nous avons adoptée comme se prêtant le mieux à la formation des autres liqueurs titrées qui sont alors comparables entre elles, avec cet avantage que la liqueur n° 3 qui est la plus faible conserve encore une sensibilité marquée.

Les liqueurs titrées des autres acides, des carbonates et hydrates alcalins, en un mot toutes les liqueurs titrées en général peuvent se former de même en prenant le cinquième de l'équivalent de chacun de ces corps, de sorte que chaque centimètre cube de liqueur titrée d'acide sulfurique, par exemple, sature, et par conséquent représente 1 centimètre cube des dissolutions du tableau suivant, qui sont également formées d'après le même principe.

Poïds du corps à doser représenté par un centimètre cube de liqueur titrée n° 1.

CORPS A DOSER.	FORMULES.	1 cent. cub.	2 cent. cub.	3 cent. cub.	4 cent. cub.	5 cent. cub.	6 cent. cub.	7 cent. cub.	8 cent. cub.	9 cent. cub.
Oxyde potassique..	KO	0.1179832	0.2359664	0.3539496	0.4719328	0.5899160	0.7078992	0.8258824	0.9438656	1.0618488
Hydrate potassique.	KO + HO	0.1404791	0.2809582	0.4214373	0.5619164	0.7023955	0.8429746	0.9833537	1.1238328	1.2643119
Carbonate potassique..........	$KO.CO^2$	0.1729832	0.3459664	0.5189496	0.6919328	0.8649160	1.0378992	1.2108824	1.3838656	1.5568488
Oxyde sodique....	NaO	0.0781794	0.1563588	0.2345382	0.3127176	0.3908970	0.4690764	0.5472558	0.6254352	0.7036146
Hydrate sodique...	NaO + HO	0.1006753	0.2013506	0.3020259	0.4027012	0.5033765	0.6040518	0.7047271	0.8054024	0.9060777
Bihydrate sodique.	NaO + 2HO	0.1231700	0.2463400	0.3695100	0.4926800	0.6158500	0.7390200	0.8621900	0.9853600	1.1085300
Carbonate sodique anhydre.......	$NaO.CO^2$	0.1331794	0.2663588	0.3995382	0.5327176	0.6658970	0.7990764	0.9322558	1.0654352	1.1986146
Carbonate sodique cristallisé......	$NaO.CO^2 + 10HO$	0.3581386	0.7162772	1.0744158	1.4325544	1.7906930	2.1488316	2.5069702	2.8651088	3.2232474

Ce tableau évite beaucoup de calculs et donne immédiatement le résultat d'un essai. En effet, si l'on a opéré sur 100c.c. d'une solution contenant 100gr. par litre, il n'y a qu'à reculer la virgule d'un rang vers la droite pour avoir la richesse en centièmes. Si au contraire l'essai a été fait sur 50c.c., on multipliera le résultat par 20.

Un exemple fera mieux comprendre l'emploi du tableau précédent.

50c.c. d'une dissolution alcaline quelconque (à raison de 100gr. par litre), c'est-à-dire de 5gr. par 50c.c. ont exigé 19c.c.,2 d'acide sulfurique n° 1 pour leur saturation, et on veut savoir à quelle quantité d'oxyde potassique, de carbonate potassique, d'oxyde sodique, de bihydrate sodique, de carbonate sodique anhydre et enfin de carbonate sodique cristallisé correspondent ces 19c.c.,2. Pour cela, on cherche dans le tableau le nombre qui correspond aux 10c.c., en multipliant par 10 celui qui correspond à 1c.c.; on ajoute ensuite le nombre correspondant aux 9c.c. et enfin aux 0,2.

Ainsi on trouve :

	Oxyde potassique.	Carbonate potassique.	Oxyde sodique.	Bihydrate sodique.	Carbonate sodique anhydre.	Carbonate sodique cristallisé.
10cc.	1.1798320	1.7298320	0.7817940	1.2317000	1.3317940	3.5813860
9	1.0618488	1.5568488	0.7036146	1.0185300	1.1986146	3.2232474
0.2	0.0235966	0.0345966	0.0156358	0.0246340	0.0266358	0.0716277
19cc,2 =	2.2652774	3.3212774	1.5011444	2.3648640	2.5571444	6.8762611

L'essai ayant été fait avec 50 cent. cubes, il faut multiplier ces nombres par 20 pour avoir la quantité en centièmes, et on a :

45.305 oxyde potassique.
66.425 carbonate potassique.
30.022 oxyde sodique.
47.297 bihydrate sodique.
51.142 carbonate sodique anhydre.
137.525 carbonate sodique cristallisé.

On remarquera d'ailleurs que les quantités relatives aux oxydes potassique et sodique représentent précisément le titre pondéral de Gay-Lussac. Quand on veut obtenir le titre Des-

croizilles (ainsi que le commerce le demande encore, malheureusement), il suffit de multiplier le nombre de centimètres cubes d'acide sulfurique employé à la saturation de 100 cent. cubes de liqueur par le rapport de 122.73 à 100 ou 1.227. C'est ainsi que dans le cas ci-dessus, 10 gr. de carbonate potassique du commerce ayant exigé $38^{c.c.},4$ d'acide sulfurique ($19^{c.c.},2 \times 2$), on obtiendra, d'après le tableau, 66,425 pour 100 de carbonate potassique pur et le titre Descroizilles du même produit sera exprimé par $38^{c.c.},4 \times 1.227 = 47°11$. Le raisonnement précédent s'applique non-seulement à l'acide sulfurique, mais à un acide quelconque dont la solution est préparée d'après les mêmes principes ; il en est de même pour les solutions alcalines titrées qui peuvent également représenter des quantités équivalentes d'acide quelconque, à l'aide d'un tableau analogue à celui que nous avons établi ci-dessus pour les alcalis et leurs carbonates.

Au contraire, si nous avons affaire, non plus à des potasses ou à des soudes d'une pareille nature, mais, comme cela arrive fréquemment, à des produits souillés par des *sulfures*, des *oxysulfures*, des *sulfites*, des *hyposulfites*, de la *chaux*, des corps, en un mot, dont plusieurs jouissent d'un pouvoir alcalin, et par conséquent saturant, des plus énergiques, l'essai alcalimétrique sera tout à fait erroné en pareil cas, et aucune méthode proposée jusqu'ici n'a permis de fournir ce titre [1]. De là vient qu'il ne se passe pas de jour qu'on ne voie surgir des contestations entre des vendeurs et des acquéreurs au sujet de la richesse d'un salin, d'une potasse ou d'une soude du commerce. Il suffira, en effet, s'il y a des matières insolubes ou peu solubles, qu'un essayeur juge à propos, en faisant la dissolution, de pousser à l'extrême l'épuisement d'un échantillon contenant de la chaux ou un oxysulfure peu soluble, pour qu'il change le titre établi par un autre essayeur qui aura pratiqué les lavages dans des conditions semblables ou comparables à celles où se font ces mêmes opérations dans les ateliers industriels.

C'est afin d'éviter les erreurs causées par la présence de ces sels

1. MM. Gay-Lussac et Welter avaient conseillé de calciner la potasse ou la soude contenant des sulfures et des sulfites avec du chlorate de potasse, afin de transformer ces sels en sulfates qui n'ont plus alors d'action sur la liqueur alcalimétrique.

saturants que MM. Frésénius et Will ont proposé, dans le temps, un nouveau mode d'essai basé sur le dosage de l'acide carbonique produit par les potasses ou les soudes lorsqu'on fait réagir sur elles l'acide sulfurique, et ils ont décrit en même temps un appareil particulier dans lequel l'acide carbonique est expulsé au dehors après avoir abandonné son humidité en barbotant dans l'acide sulfurique concentré. La perte de poids de l'appareil après l'opération indique la quantité d'acide carbonique, et, par un calcul très-simple, la richesse de la potasse essayée. Mais ce procédé peut donner lieu à des erreurs assez sensibles, par suite de la solubilité de l'acide carbonique dans l'acide sulfurique concentré qu'on est obligé d'employer en assez grande quantité; quelques auteurs ont cherché à éviter cet inconvénient en retenant l'eau par du chlorure calcique fondu, sel qui a encore plus de désavantages, car dans cet état, il est presque toujours alcalin, et peut par suite retenir de l'acide carbonique; d'un autre côté, une fois qu'il est humecté à la surface, il se forme une couche visqueuse qui empêche ultérieurement la dessiccation du gaz; quoique ces deux genres d'erreurs soient opposés, ils ne se compensent nullement. D'ailleurs, ce procédé exige l'emploi d'un appareil assez difficile à monter, très-fragile, et aussi celui de balances assez précises, et seulement à la portée des personnes qui ont une certaine habitude des manipulations. Plusieurs auteurs, et notamment M. Mohr et M. Wittsein, ont remplacé l'acide sulfurique par l'acide oxalique et par l'acide tartrique; mais l'emploi de ces acides n'écarte nullement les causes d'erreurs que nous avons signalées, et tend à compliquer le procédé si simple et si pratique de Gay-Lussac, quant aux cas les plus ordinaires.

C'est en cherchant les moyens d'obvier à ces inconvénients, que j'ai entrepris des expériences dont l'heureux résultat a dépassé mon attente. En effet, non-seulement la méthode que j'ai eu l'honneur de soumettre à l'examen de l'Académie nous permet de résoudre en faveur de l'industrie ces questions délicates d'*alcalimétrie* dont la solution était restée pour ainsi dire indécise jusqu'ici, mais elle nous paraît offrir aux chimistes des moyens précis et expéditifs d'aborder plusieurs problèmes d'analyse.

Quelques mots sur les faits qui nous ont guidé dans ce travail :

Il y a peu de temps que, dans les *Annales du Conservatoire des*

arts et métiers, nous avons fait connaître une nouvelle méthode de dosage de l'acide nitrique, qui est basée sur les faits suivants :

1° Les fluorures, les chlorures, les bromures et les sulfates alcalins anhydres sont indécomposables par le *bichromate potassique* chauffé à son point de fusion, et même au rouge naissant.

2° Dans les mêmes conditions, les nitrates sont tous décomposés ; l'acide nitrique est expulsé en totalité à mesure que l'acide chromique prend sa place et qu'il se produit une quantité équivalente de chromate. Avant d'aller plus loin, nous devons réparer ici une omission relativement au dosage de l'acide nitrique des salpêtres du commerce ; nous avons dit que l'on opérait dans un creuset de platine assez mince, de $0^m,07$ de hauteur et de 0,04 de diamètre. Afin de mieux faire comprendre la disposition de ce petit appareil, nous en joignons ici la figure. Celle-ci représente le creuset dans la deuxième partie de l'opération, c'est-à-dire contenant le nitre et le bichromate fondus ; la capsule de platine a pour but de modérer l'action du feu. Nous avons également fait observer, dans ce même travail, que l'on pratiquait la première opération, c'est-à-dire la fusion simple du nitre pour la détermination de l'eau, en chauffant le creuset sur un disque en terre poreuse, afin de ne pas trop élever la température. Le couvercle du creuset est bombé en dessous pour faire retomber les gouttes de bichromate fondu projetées par la réaction, et enfin des ouvertures placées à la partie supérieure du creuset facilitent la sortie des vapeurs nitreuses.


Fig. 1.

Pour en revenir à notre sujet, en appliquant la méthode basée sur les faits qui précèdent au dosage de certains sels de soude du commerce (mélanges de carbonates, chlorures, sulfates et nitrates) qui sont fréquemment adressés au laboratoire de la chambre de commerce, et qui se trouvent contenir parfois jusqu'à 19 p. 100 de nitrate, je ne tardai pas à m'apercevoir qu'en chauffant avec ménagement un mélange de ces sels et de bichromate, avec la précaution de ne pas dépasser sensiblement le

point de fusion de ce dernier, on expulsait la totalité de l'acide carbonique sans entraîner d'acide nitrique.

Comme on le voit, nous trouvions le moyen de doser par des pertes successives constatées à la balance, d'abord l'acide carbonique et ensuite l'acide nitrique; or, comme dans une opération bien conduite la perte d'acide carbonique correspondait exactement au titre alcalimétrique, il n'y avait plus qu'un pas à faire pour créer une méthode rationnelle, propre au dosage des carbonates alcalins du commerce, sans avoir à redouter les erreurs inévitables, dans certains cas, par l'emploi des méthodes ordinaires, et dues à la présence des sulfures alcalins, des oxysulfures, de la chaux, des sulfites et hyposulfites, etc.

Comme il est facile de le comprendre, et ainsi que nous nous en sommes assuré par des expériences directes, le bichromate potassique *oxyde* ou bien *sature* les oxysulfures, les sulfures, les sulfites, les hyposulfites et la chaux, sans donner lieu à aucun dégagement. Au contraire, un carbonate étant décomposé par le bichromate potassique, il y a un dégagement d'acide carbonique exactement proportionnel à la quantité de base qui le retenait en combinaison. Un hydrate fournit également une proportion d'eau correspondant à un hydrate simple ou à un bihydrate, suivant la température à laquelle on a soumis ce produit du commerce.

Restait à disposer un appareil à l'aide duquel on pût effectuer l'expérience, tout en recueillant les produits de la réaction. C'était chose à peu près trouvée, car il suffisait d'employer l'appareil de Liebig servant à analyser les substances organiques, en le modifiant et le complétant un peu. Nous avons donc eu recours à un tube à combustion de 50 à 60 centimètres de longueur, ouvert aux deux extrémités, très-légèrement recourbé en U vers son milieu et recourbé en sens inverse de part et d'autre, de manière à maintenir ses deux extrémités horizontales. Par l'une de ces extrémités le tube est en communication au moyen d'un petit robinet de cuivre avec un système de tubes garnis de tous les agents communément employés pour purifier l'air des corps étrangers qu'il contient; par l'autre, il se relie avec un appareil de Liebig servant à retenir l'eau et l'acide carbonique qui se dégagent pendant la réaction. Enfin, tout l'appareil communique avec un vase aspirateur par l'intermédiaire d'une éprouvette ou

d'un tube desséchant, de manière que l'air humide de l'aspirateur ne soit pas en contact avec le reste de l'appareil. L'aspirateur porte un tube de Mariotte qui permet d'obtenir un écoulement constant, mais qu'on peut remplacer par un simple tube ne plongeant pas dans le liquide. Dans l'hypothèse où l'air humide viendrait à rentrer dans l'appareil, nous avons placé directement après le flacon de Mariotte un tube contenant de la potasse fondue pour fixer l'eau et l'acide carbonique. En résumé, l'appareil se compose des différentes parties suivantes, fig. 2.

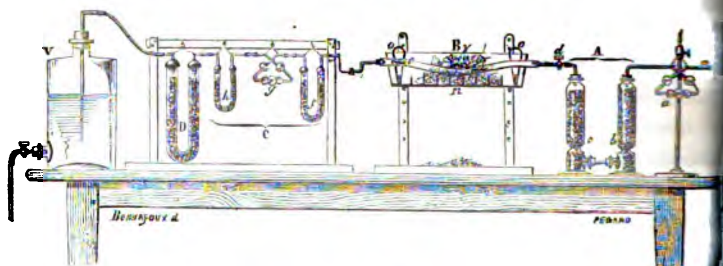


Fig. 2.

V. Vase aspirateur, destiné à faire circuler l'air dans l'app
et à forcer l'eau et l'acide carbonique dégagés à passer s
corps qui doivent les absorber.

A. Système pour la purification de l'air.

B. Tube à combustion dans lequel on introduit le roma
et la substance à essayer.

C. Système de tubes pour l'absorption totale l'eau et
l'acide carbonique, et pesé avant et après chaque opératio

D. Tube en U à potasse solide, intermédiaire en l'a eur
et la partie C, et destiné à prévenir l'accès de l'air e.

a et *g*. Tubes de Liebig contenant de la potasse liquide.

b et *c*. Éprouvettes contenant de la ponce et de la chaux en fragments, et du chlorure calcique desséché.

d. Robinet de cuivre pour régler le courant d'air.

e. Amiante calcinée.

f. Tube en U contenant de la ponce imprégnée d'acide sulfurique.

h. Tube en U contenant de la potasse solide.

m. Entrée de l'air extérieur.

n. Grille à analyse supportant le tube à combustion.
o rans pour protéger les bouchons de l'action du feu.

e à ces dispositions, on peut, comme on va le voir, régler té une opération dont les résultats laisseront peu à dési- l'on a eu soin de ne pas négliger les quelques précautions squelles nous aurons l'occasion d'insister.

anière d'opérer. — Lorsqu'il s'agit d'un carbonate, il suffit d'in- duire dans le tube B, de 30 à 60 grammes de bichromate fondu[1], préalablement mélangé avec 1, 2 ou 3 grammes du carbonate, celui-ci est insoluble, car dans le cas contraire, le mélange éalable est superflu[2]. Le tube B étant parfaitement articulé r ses extrémités avec les deux systèmes que nous avons dé- rits, on détermine l'écoulement de l'eau du vase V, à l'effet e provoquer un courant d'air très-modéré dans l'appareil, et n chauffe graduellement ce tube B, qui ne doit pas être en- touré de clinquant afin qu'on puisse suivre la marche de l'opé- ration. Dès que le bichromate entre en fusion, commence le

1. Le bichromate ne doit être employé qu'après avoir été préalablement hauffé avec ménagement, de manière à subir la fusion tranquille. Aussitôt 'il est refroidi, il faut enfermer ce sel dans un flacon bouché à l'émeri, ttendu qu'il absorbe et fixe facilement l'ammoniaque de l'air. Malgré cette sion qu'on a fait subir au bichromate, nous avons soin, au moment de ous en servir, de refondre une seconde fois la quantité qui nous est néces- aire pour une opération.

2. Si l'on opère sur des carbonates insolubles, comme ceux de chaux, de baryte, de strontiane, de magnésie, de manganèse, de fer, de zinc, de cuivre, de plomb, etc, il est essentiel de commencer par réduire ces sels à l'état de *poudre fine* par l'un ou l'autre des moyens en usage à cet effet. Lorsque, au contraire, on expérimente sur des carbonates à base de potasse, de soude et de lithine, les deux premiers surtout, cette précaution est non-seulement inutile, mais dangereuse en raison de la rapidité avec laquelle la décomposition s'opère en donnant lieu à des projections de bichromate, qui pourraient arriver jusqu'au premier tube du système de Liebig, si l'on n'a- vait soin de mettre à la partie antérieure du tube B une mèche d'amiante calcinée *e*. Celle-ci a pour effet de retenir les parcelles de bichromate pro- jeté et de prévenir ainsi des erreurs. L'opération achevée, on a la précaution de chauffer la partie du tube où se trouve l'amiante, afin que dans le cas où de l'eau s'y serait condensée, elle en soit expulsée.

dégagement d'acide carbonique, qu'il est très-facile de modérer pendant toute la durée de l'expérience. Lorsque la masse entière est en fusion tranquille, on met fin à l'opération en retirant le feu, et on continue à faire passer l'air jusqu'à refroidissement pour remettre l'appareil dans les conditions premières.

L'augmentation de poids qu'éprouvent les tubes à potasse *g* et *h* fait connaître la quantité d'acide carbonique dégagée, de laquelle on déduit ensuite la proportion de carbonate.

S'il s'agit d'un hydrate, ou mieux encore d'un mélange d'hydrate et de carbonate, la manière d'opérer est encore la même; seulement il faut prendre toutes les précautions nécessaires, pour que, avant comme après l'opération, il ne reste point d'humidité dans le tube B, et, en outre, opérer le plus rapidement possible pour empêcher la matière et le bichromate d'absorber de l'eau; alors les poids respectifs d'eau et d'acide carbonique font connaître les proportions relatives de carbonate et d'hydrate, si l'on ne perd pas de vue, cependant, que les mélanges de carbonates et d'hydrates alcalins du commerce sont toujours constitués par un bihydrate; ce résultat s'explique par l'habitude où sont les fabricants de faire subir une fusion imparfaite à ces mélanges, au lieu de les porter au rouge. Au reste, un dosage de la base, commune à l'eau et à l'acide carbonique, fait disparaître toute espèce d'incertitude. A ce propos, il ne sera pas inutile de décrire ici la méthode que nous employons pour doser la potasse dans ces sels, et, en général, dans tous les mélanges salins du commerce. Les sels de potasse et de soude, quels qu'ils soient, seront décomposés pour être transformés en chlorures, par l'un des moyens suivants; on opérera sur les dissolutions de ces sels filtrées et évaporées à sec pour éliminer les matières insolubles :

1° S'il y a des phosphates en présence, on traitera la dissolution saline par le chlorure barytique qui précipitera les sulfates, les carbonates et les phosphates; on filtrera et lavera le filtre, on séparera ensuite l'excès de chlorure barytique par le carbonate ammonique, on filtrera, on fera bouillir, et on calcinera; mais ici il y a un petit écueil à éviter, car par une calcination trop forte, on s'expose à volatiliser des chlorures et à commettre ainsi une erreur; cependant, en prenant la précaution de chauffer modérément, on peut éviter cette volatilisation.

2° On sature le sel par l'acide chlorhydrique pur, s'il y a des carbonates, on dessèche, puis on mélange la matière avec environ son poids de charbon de sucre (obtenu par la calcination de beau sucre candi), et on met le mélange dans un tube légèrement courbé et contenu dans un auget de même forme en tôle forte, ne laissant à découvert que la partie supérieure du tube.

On chauffe sur un fourneau à réverbère au rouge sombre, et on fait passer dans le tube un courant d'acide chlorhydrique gazeux, pur et sec. Sous cette influence, tous les sels se transforment en chlorures. Quand la transformation est complète, ce qui arrive au bout de trois quarts d'heure, pour 3 grammes de sel environ, on laisse refroidir, on lessive, on évapore, on dessèche et on porte même la matière au rouge sombre, pour lui faire éprouver un commencement de fusion; il faut encore éviter, comme dans le cas précédent, la perte par volatilisation, en ménageant beaucoup la température, tout en la maintenant cependant assez élevée pour être sûr que toute l'eau est expulsée.

3° S'il y a des nitrates, on décompose d'abord la plus grande partie du sel par l'acide chlorhydrique liquide et pur en opérant dans une capsule de porcelaine; on dessèche, et comme dans le cas précédent on fait passer de l'acide chlorhydrique gazeux sur le résidu mélangé de charbon afin de faciliter la décomposition des sulfates.

La transformation en chlorures étant opérée par l'un de ces moyens, on traite par l'eau, on filtre, on lave et on évapore la solution à siccité; on pèse ensuite 1 gramme du sel ainsi obtenu et fortement desséché, et on le dissout dans 4 à 5 parties d'eau; on ajoute alors du chlorure platinique en dissolution assez concentrée et de l'alcool à 75°, on laisse en digestion pendant 12 heures dans un endroit frais, on recueille ensuite le précipité sur un double filtre dont l'un sert de tare, on lave avec de l'alcool à 75°, jusqu'à ce que le liquide ne laisse plus de résidu sur la lame de platine, on dessèche à 110 ou 115°, et on pèse; le poids obtenu fait connaître la quantité de chlorure potassique contenue dans le sel. Avec ces données, et moyennant le dosage préalable de l'acide sulfurique à l'état de sulfate barytique, des acides chlorhydrique et carbonique au moyen de liqueurs titrées, et enfin de l'acide nitrique par l'emploi du bichromate potassique, on a, comme nous le faisons voir plus loin par un exemple,

tous les éléments nécessaires pour déterminer la composition du mélange à analyser.

Quand on a affaire à des chlorures, à des carbonates ou à des sulfates du commerce, qui contiennent beaucoup de nitrates (notamment les résidus de salpêtre mal lavés), on est obligé, pour doser l'acide nitrique avec certitude, de saturer d'abord les carbonates par la quantité d'acide sulfurique nécessaire ou en léger excès, quantité déterminée, d'ailleurs, par un essai alcalimétrique, puis d'ajouter un certain poids de chromate jaune sec, de dessécher le tout, de tarer et de continuer ensuite comme nous l'avons dit pour le dosage de l'acide nitrique.

C'est au reste ce qu'un exemple d'analyse de ce genre fera mieux comprendre.

ANALYSE D'UN RÉSIDU DE SALPÊTRE.

Dosage de l'eau. — On a pris 100 gr. du sel, on les a desséchés parfaitement et on a constaté à la balance la perte de poids qui est de $5^{gr}.720$.

Dosage des matières insolubles. — La matière a été reprise par l'eau et le résidu insoluble recueilli et lavé sur un filtre, puis desséché et pesé. Son poids $= 2^{gr}.400$.

Les eaux de lavage ayant été réunies à la liqueur, on a étendu d'eau le mélange, de manière à former un litre de liquide que nous appellerons solution N et qui correspond à 100 gr. de sel. On a pris en outre 50 cent. cubes de cette solution qu'on a étendue d'eau pour former $\frac{1}{2}$ litre d'une nouvelle liqueur au $\frac{1}{10}$ N'.

Dosage du chlore. — 100 cent. cubes de la solution N' qui correspondent à 1 gramme de sel ont exigé $26^{c.c.}72$ de liqueur titrée d'argent, ce qui représenterait $50^{gr}.160$ pour 100 de chlorure potassique, chaque centimètre cube de la solution d'argent correspondant à $0^{gr}.01863$ de ce sel.

Dosage de l'acide carbonique.—50 cent. cubes de solution N étant saturés par la liqueur titrée d'acide sulfurique n° 1 ont exigé $15^{div.},3$ de la burette ou $7^{c.c.},65$ qui représentent $0^{gr}.76745$ SO^3. Les 100 gr. de sel exigent donc $0^{gr}.76745 \times 20$ de cet acide, soit: $15^{gr}.349$, ce qui correspond à $28^{gr}.0202$ de carbonate potassique.

Dosage de l'acide sulfurique. — 100 gr. de solution N représentant 10 gr. de sel, ayant été précipités par le chlorure barytique acidulé, ont fourni un poids de 0gr.5345 de sulfate barytique, et pour 100, 5gr.345 représentant 4 gr. de sulfate potassique.

Dosage de l'acide nitrique. — 50 cent. cubes de solution N ayant été saturés exactement par de l'acide sulfurique pur (pour expulser l'acide carbonique), puis desséchés au creuset de platine en présence du chromate potassique neutre, enfin pesés, puis fondus avec 2 fois leur poids de bichromate, on a constaté une perte de 0gr.3607 qui est pour 100 gr. de 0gr.3607 $\times$ 20 = 7gr.214 correspondant à 13gr.500 de nitrate potassique.

Dosage de la potasse et de la soude. — On a transformé le sel en chlorures par la méthode décrite ci-dessus, le produit a été repris par l'eau, et la liqueur évaporée à siccité. On a dissous dans l'eau 1 gr. de ce résidu salin, et on a ajouté du chlorure platinique; après quelque temps de repos le précipité a été recueilli sur un filtre, lavé avec de l'alcool à 75°, enfin desséché dans une étuve chauffée à 115°.

Il pesait 2gr.982, et comme 1 gr. du sel double de platine contient 0,3047 de chlorure potassique, il en résulte que le mélange salin est formé pour 100 de

90,815	chlorure potassique
9,185	— sodique.
100,000	

Reste à déduire de ces données la quantité de potasse et de soude combinée avec les différents acides contenus dans le sel primitif. Nous avons eu recours au moyen suivant : partant de ce fait que le poids de l'oxygène de la base dans un sel alcalin est indépendant de la nature de cette base, mais reste en relation constante avec la quantité de l'acide, nous avons cherché à quel poids d'oxygène correspondaient les différents acides que nous avions dosés. Partageant alors cette somme totale d'oxygène de la base dans le rapport des deux nombres qui expriment les quantités de chlore unies au potassium et au sodium, nous en avons déduit la quantité d'oxygène appartenant à la potasse et à la soude et par suite les quantités respectives de ces deux bases.

En supposant que tous les sels fussent à base de potasse, ce

qui n'est point, nous avions trouvé dans les 100 grammes du mélange :

			Oxygène correspondant de la base :
Chlorure potassique.	50,160	—	5gr,3821
Carbonate —	28,020	—	3 ,0800
Sulfate —	4,000	—	0 ,3639
Nitrate —	13,500	—	1 ,0678
	95,680		9gr,8938
Eau.	5,720		
Matières insolubles.. .	2,400		
	103,800		

Ce résultat trop fort suffirait à lui seul pour faire conclure à la présence de la soude dans le mélange salin.

En partageant, comme nous l'avons dit, la somme d'oxygène des bases en deux parties proportionnelles aux nombres qui expriment la quantité de chlore unie au potassium et au sodium dans le mélange de chlorures, nous avons trouvé qu'il y avait :

Oxygène appartenant à la soude.	1gr,1472
— — potasse.	8 ,7466
	9gr,8938

Puisque nous ignorons complétement à quelle combinaison appartient la soude dans le mélange donné, et qu'il est indifférent de l'associer à tel ou tel acide, nous pourrons supposer pour plus de simplicité qu'elle se trouve à un seul état, celui de carbonate par exemple. Nous calculerons alors directement la quantité de carbonate sodique en posant la proportion :

$$100 \text{ éq. de O} : 665 \text{ éq. de NaO CO}^2 :: 1^{gr}.1472 : x;$$
$$\text{d'où} \quad x = 7^{gr}.628.$$

Nous avons vu que l'oxygène de la base correspondant au carbonate était de 3gr.080 ; or, puisque nous avons déjà disposé de 1gr.1472 de cet oxygène, il ne nous en reste plus que 3gr.080 — 1gr.1472 ou 1gr.933 qui donne une quantité de carbonate potassique calculée par la proportion :

$$100 \text{ éq. de O} : 865 \text{ éq. de KOCO}^2 :: 1^{gr}.933 : y;$$
$$\text{d'où} \quad y = 16^{gr}.720.$$

En résumé nous arrivons à exprimer la composition du résidu salin de la manière suivante :

Eau	5,720
Matières insolubles	2,400
Chlorure potassique	50,160
Sulfate —	4,000
Nitrate —	13,500
Carbonate —	16,720
Carbonate sodique	7,628
	100,128

Lorsqu'il s'agit de potasses et de soudes du commerce renfermant des sulfures, des oxysulfures, des sulfites, de la chaux, etc., il n'y a rien à changer à ce qui a été dit ci-dessus pour les carbonates et les hydrates; il suffit de savoir élever les proportions de bichromate, et, selon la nature du sel, observer certaines précautions [1].

Au reste, nous ne pouvons en donner de meilleures preuves qu'en rapportant ici quelques-uns des résultats de nos expériences.

Ayant à notre disposition une soude du commerce (mélange de carbonate, de bihydrate, de chlorure et de sulfate), dont nous connaissions, outre le titre alcalimétrique, les proportions exactes de chacun des principes constituants, nous l'avons choisie, en raison de sa nature complexe, pour base de nos opérations. Soumise dans notre appareil (p. 332, fig. 2) à l'action du *bichromate*, elle donnait :

Acide carbonique. . .	29 p. 100.
Eau.	5.5 —

Ces nombres traduits en carbonate et bihydrate sodiques correspondaient, à quelques millièmes près, au *titre alcalimétrique* de ce produit.

On l'a traitée de la même manière, mais avec addition :

1. Quand on opère sur des potasses ou des soudes brutes, renfermant du charbon, outre les sulfures et les oxysulfures, etc., il est indispensable de procéder à un lessivage préalable, d'évaporer les lessives et de constater le poids des matières salines ainsi obtenues; c'est alors seulement, et le sel étant convenablement desséché, que l'on fait réagir le bichromate.

1° De 50 p. 100 de son poids de sulfure calcique, et on a obtenu :

Acide carbonique. . .	29.5
Eau.	6.5

2° De 50 p. 100 de son poids de sulfite sodique renfermant du carbonate, et on a recueilli :

Acide carbonique. . .	29.8

Le sulfite n'ayant pas été desséché, l'eau a été négligée.

3° De 100 p. 100 de son poids de chaux vive du commerce renfermant de l'eau et de l'acide carbonique, et on a recueilli 31.2 d'acide carbonique.

Il ne faut pas perdre de vue que les composés que nous avons fait intervenir dans ces expériences de contrôle se manient difficilement au contact de l'air, dont ils absorbent rapidement l'eau et l'acide carbonique; par conséquent, on s'explique les différences remarquées. Néanmoins, les nombres obtenus prouvent que, dans des circonstances aussi exceptionnelles que celles où nous nous sommes placé, et où il y a toute impossibilité de pratiquer un essai alcalimétrique, nos résultats ne s'écartent pas trop de la vérité.

Au reste, les expériences que nous avons faites sur des carbonates et hydrates naturels et artificiels, entre autres le carbonate de chaux cristallisé ou spath d'Islande, la withérite ou carbonate de baryte, le carbonate ferreux, la malachite et l'azurite (carbonates de cuivre hydratés), nous font accorder toute confiance à cette méthode qui, cependant, il ne faut pas nous le dissimuler, comporte encore des perfectionnements que des mains plus habiles que les nôtres ne manqueront pas d'y introduire. Elle sera sans doute appliquée avec beaucoup de succès à l'analyse des cendres et des résidus salins provenant de l'évaporation des eaux.

Dans les nombreuses expériences que nous avons faites pour établir et vérifier ces nouvelles méthodes de dosage des nitrates et des carbonates, nous avons reçu de M. Monnot, jeune chimiste attaché à notre laboratoire, un concours intelligent et dévoué dont nous tenons à le remercier ici.

MÉMOIRE
SUR LES OYYDES COMPLEXES.
PAR M. PERSOZ.

PREMIÈRE PARTIE.

Les illustres fondateurs de la chimie moderne, ayant posé en principe que les sels devaient nécessairement être le produit de la combinaison d'un acide avec un oxyde, n'avaient pu prévoir la formation de nombreux composés pouvant résulter de la combinaison de deux oxydes métalliques engendrés par un même métal ou par des métaux différents.

Mais, des travaux analytiques ayant mis en évidence l'existence d'une foule de composés naturels et artificiels qu'il était impossible de classer parmi les combinaisons binaires du premier ordre, sans admettre les anomalies les plus choquantes, des chimistes, parmi lesquels on doit particulièrement citer Proust, Berzélius et Dumas, n'ont pas hésité à reconnaître de véritables composés salins, là où d'autres persistaient à ne voir que de simples oxydes formés en dehors des lois les mieux établies de la science. On peut donc regarder comme un grand pas fait par eux, dans l'intérêt philosophique de la science, d'avoir envisagé l'oxyde de manganèse $\frac{4}{3}$ (Gay-Lussac), non plus comme une simple combinaison de manganèse et d'oxygène (Mn^3O^4), mais bien comme un *composé salin* $Mn^2O^3 + MnO$, qu'on désigne parfaitement par le nom d'oxyde *manganico-manganeux;* de même qu'on appelle aujourd'hui oxyde *ferrico-ferreux*, ou encore *ferroso-ferrique*, l'oxyde de fer magnétique, et *aluminico-zincique* l'espèce minérale Al^2O^3ZnO (la Gahnite), etc. Il est à remarquer, ce qui, du reste, ne doit pas surprendre, que les oxydes salins sont presque toujours constitués par un oxyde de la formule R^2O^3, uni avec un oxyde électropositif de la formule RO ou bien R^2O.

Les combinaisons dont il est plus particulièrement fait mention dans ce travail sont celles auxquelles donne naissance

l'oxyde chromique (Cr^2O^3). Quelques mots suffiront pour faire comprendre les circonstances de leur formation, et les moyens à l'aide desquels on arrive à les isoler dans un état défini qui permette d'établir analytiquement leur composition.

Formation. — Toutes les fois qu'on chauffe un chromate métallique dont l'oxyde ne jouit pas d'un *pouvoir basique* assez puissant pour conserver à l'acide chromique toute sa stabilité sous l'influence de la chaleur, cet acide se décompose, il perd la moitié de son oxygène, passe à l'état d'*oxyde chromique*, lequel s'unit avec l'oxyde qui servait primitivement de base au chromate, et forme à son tour une combinaison définie, quelle que soit d'ailleurs la quantité excédante de ce dernier oxyde. C'est, au reste, ce qui ressortira clairement de ce que nous dirons plus loin en étudiant les combinaisons à base de cuivre.

Les chromates magnésique, zincique, manganeux[1], ferreux[1], cobaltique, niccolique, cuivrique, cadmique, cérique, uranique, étant soumis à l'action de la chaleur, soit isolément, soit avec le concours d'une certaine quantité de nitrate de la base que l'on veut unir à l'oxyde chromique, on peut constater qu'il y a toujours décomposition complète de l'acide chromique, pourvu que la température soit suffisamment élevée, et l'on retrouve l'oxyde chromique uni, en proportion définie, avec l'oxyde existant dans le chromate primitif ou avec un dérivé de cet oxyde, suivant les circonstances.

Purification. — Pour dégager ces combinaisons définies des matières étrangères et de l'excès d'oxyde, on commence par pulvériser la masse calcinée, si elle a pris trop de cohésion, et on la traite à plusieurs reprises, dans une capsule de porcelaine, par l'acide chlorhydrique concentré et bouillant, jusqu'à ce qu'une goutte de la liqueur claire, étant évaporée sur la lame de platine, ne laisse plus de résidu. Arrivé à ce moment, on laisse déposer le précipité, on décante la liqueur, qui ne doit plus contenir que de l'acide chlorhydrique pur, et à l'aide de la chaleur on dessèche la matière qui s'est déposée au fond de la capsule. C'est vainement qu'on chercherait à recueillir le produit sur un filtre, puisque aussitôt qu'il n'est plus en présence d'une eau

1. Ces sels sont déjà en grande partie décomposés par l'action mutuelle des oxydes réducteurs et de l'acide chromique.

acide ou chargée de matières salines, il passe presque aussi facilement au travers du papier que le ferait un corps doué d'une solubilité réelle, tant est grand son état de division (Ce caractère est commun à tous les composés de ce genre).

Oxyde chromico-cuivrique. — C'est le composé dont nous avons signalé la première fois l'existence dans notre mémoire sur quelques composés du cuivre (*Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XXV). En nous occupant de vérifier la composition que Gerhardt d'une part, MM. Malaguti et Sarzeau de l'autre, avaient assignée au chromate de cuivre basique[1], nous avions fait voir que, dans les conditions d'expérience indiquées par ces chimistes, on formait un chromate tricuivrique[2], qui, calciné, perdait une partie de son oxygène (le volume d'oxygène dégagé est égal à la moitié de celui qui existait dans l'acide du chromate), et qu'on retrouvait, comme produit de la calcination, une matière pulvérulente, laquelle se dédoublait par l'acide chlorhydrique bouillant en Cr^2O^3CuO, insoluble et inattaquable par l'acide, et en 5 équivalents de CuO qui passaient, au contraire, en dissolution dans le même acide.

La couleur intense, l'extrême division de ce corps, et enfin sa grande stabilité en présence des agents les plus énergiques, me faisaient espérer qu'il pourrait être employé dans l'impression avec le concours de substances plastiques semblables à celles qui servent aujourd'hui à fixer sur les tissus un grand nombre de couleurs, et aussi dans la peinture à l'huile et dans la décoration des porcelaines.

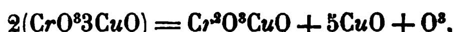
Je m'occupai donc d'en préparer une certaine quantité en adoptant une marche en apparence identique à celle que j'avais suivie antérieurement, lorsqu'à ma grande surprise, après avoir calciné le chromate tricuivrique et traité par l'acide chlorhydrique bouillant le produit de la calcination, j'obtins comme résidu, non plus une substance noire amorphe, comme précédemment, mais un corps présentant un aspect métallique et cristallin qui le faisait ressembler beaucoup à de la galène[3]. Soumis à l'analyse, ce

1. $CrO^3,4CuO.5H^2O$ (Malaguti et Sarzeau). Gerhardt admettait la même composition, mais avec élimination d'eau (2 équivalents) à 200°.

2. $CrO^3,3CuO.2H^2O$.

3. M. Friedel a bien voulu examiner ce composé. Il lui a trouvé la forme de

corps fut reconnu contenir, pour la même quantité d'oxyde chromique, deux fois plus de cuivre que le composé précédent. A quoi fallait-il attribuer la formation de ce nouveau corps ? Je m'assurai d'abord que le chromate tricuivrique employé avait une composition bien définie[1], et que le cuivre de ce sel basique se retrouvait, en totalité, partie dans le nouveau composé inattaquable par l'acide chlorhydrique, partie dans la liqueur acide; mais tandis que dans mes expériences antérieures j'avais constaté la présence de 5 équivalents de cuivre dans la dissolution pour 1 équivalent qui restait en combinaison avec l'oxyde chromique, d'après l'équation



$$2(CrO^3 3CuO) = Cr^2O^3CuO + 5CuO + O^3,$$

je ne trouvais plus ici que 4 équivalents de cuivre en dissolution, les deux autres étant passés à l'état de composé insoluble.

Après bien d'inutiles recherches pour m'expliquer la cause de ce phénomène, je me rappelai, en comparant rigoureusement mes expériences, qu'antérieurement j'avais toujours opéré dans des moufles, c'est-à-dire en présence d'un courant d'air, tandis que dans cette dernière expérience j'avais effectué la calcination dans un creuset fermé. Je fus ainsi conduit à admettre que, calciné dans ce creuset, l'oxyde cuivrique avait pu subir l'influence des gaz réducteurs du foyer, et perdre une partie de son oxygène.

L'analyse du composé vint, en effet, confirmer mes prévisions.

tablettes triangulaires bien définies, paraissant appartenir au système octaédrique, l'épaisseur de ces tablettes étant trop faible pour qu'on pût déterminer exactement leur forme. Quelques cristaux vus au microscope présentaient un *reflet rouge;* des tablettes très-minces étaient *vertes* par transparence.

1. Nous avons dit que l'on obtenait le chromate tricuivrique en décomposant à chaud les sels cuivriques et principalement le sulfate par le chromate neutre de potasse, il se forme immédiatement du bichromate potassique qui colore la liqueur en rouge orangé, et il se précipite le sous-sel qui en raison de sa texture retient avec une si grande énergie les corps dont il est imprégné, qu'il est très-difficile de le laver.

L'analyse de ce composé nous a donné :

Oxyde et oxyde chromico-cuivrique.	83.20	La théorie donne d'après	83.981
Oxyde cuivrique	63.8	la formule $CrO^3 3CuO 2H^2O$.	63.58
Oxyde chromique	20.37	—	20.40
Eau	9.6	—	9.56
Oxygène éliminé par la chaleur...	7.9	—	6.46

En dosant exactement, d'après les moyens d'analyse que nous indiquons plus loin :

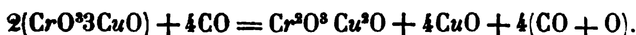
1° l'oxygène que ce corps pouvait absorber;

2° l'eau qu'il pouvait fournir, étant soumis au rouge, à l'action d'un courant d'hydrogène pur et sec;

3° l'oxyde cuivrique qu'on pouvait lui enlever après l'avoir oxydé au moyen du nitre fondu;

4° enfin la quantité d'oxyde chromique qu'il renfermait;

Je pus conclure à l'existence de l'oxyde *chromico-cuivreux* $Cr^2O^3Cu^2O$, qui prend toujours naissance lorsqu'on calcine le chromate tricuivrique dans un creuset couvert, au milieu d'un foyer de charbon ardent, d'après l'équation



$$2(CrO^3 3CuO) + 4CO = Cr^2O^3\,Cu^2O + 4CuO + 4(CO + O).$$

Peut-être ce fait de la production alternative d'un composé cuivreux ou cuivrique, dans des conditions si peu différentes, conduira-t-il à découvrir la cause de beaucoup de phénomènes siuguliers que l'on constate dans les opérations industrielles de la voie sèche.

Nous allons entrer maintenant dans quelques détails relativement à la préparation des oxydes chromico-cuivrique et cuivreux, et indiquer le procédé d'analyse qui nous a servi pour tous les composés du même genre.

C'est en raison de l'importance que peuvent prendre ces produits dans l'industrie que nous insistons sur tous ces détails. Nous commencerons par l'oxyde chromico-cuivrique, qui nous a servi de point de départ. On prépare ce composé en soumettant le chromate cuivrique tribasique (obtenu comme nous l'avons dit précédemment) incomplétement lavé, à l'action d'une température élevée sous l'influence d'un courant d'air; le mieux serait d'opérer cette calcination dans la partie moyenne des fours à porcelaine et en plaçant la matière dans des creusets enfermés eux-mêmes dans des cazettes ou étuis ouverts seulement par devant, de façon que l'air pût circuler librement, en un mot dans de véritables moufles; on emploierait avec avantage celles qui servent pour la coupellation des matières d'or et d'argent. Quand la calcination de la masse est opérée, ce qui arrive dans l'espace de deux à quatre heures, suivant la température du fourneau, on retire et on laisse refroidir. On pulvérise ensuite la

matière s'il est nécessaire, puis on la traite dans une capsule de porcelaine par de l'acide chlorhydrique concentré et bouillant jusqu'à ce que l'on ait dissous tout l'oxyde de cuivre non combiné. Cela fait, on lave à l'eau aiguisée d'acide chlorhydrique pur; on arrête les lavages quand l'eau évaporée sur une lame de platine ne laisse plus de résidu. Le lavage à l'eau pour enlever l'acide est impossible, parce qu'aussitôt qu'il n'y en a plus suffisamment, la matière est entraînée et reste en suspension dans le liquide, et le lavage par décantation, qui se fait d'abord très-rapidement, devient impraticable, la matière étant si ténue qu'elle traverse même les filtres. Quand on a lavé ainsi à l'eau aiguisée d'acide chlorhydrique pour enlever toutes les matières étrangères, on dessèche le produit dans la capsule même; l'acide chlorhydrique et l'eau se volatilisant entièrement, il reste une matière noire excessivement divisée qui est l'oxyde chromico-cuivrique. Il est bon de l'enfermer aussitôt qu'il est desséché, parce que, en raison de sa division extrême, il absorbe l'humidité de l'air avec une grande avidité, et sous ce rapport est comparable à l'oxyde de cuivre, que l'on obtient par la calcination du nitrate.

L'analyse de ce composé, comme celle de tous les composés analogues, s'exécute de la manière suivante. On dessèche la matière, on la pulvérise au besoin, puis on y ajoute environ cinq fois son poids de nitrate potassique pur, et on chauffe le mélange dans une capsule ou plutôt dans un creuset de platine[1].

On n'a pas à craindre l'attaque du creuset parce qu'il y a toujours un grand excès de nitre en présence et que dans ces conditions la réduction est impossible. Aussitôt que le nitre est fondu, on aperçoit déjà une décomposition très-vive; il se forme alors du chromate potassique et de l'oxyde cuivrique, avec production d'abondantes vapeurs rutilantes. Lorsqu'on n'aperçoit plus de vapeurs, on met fin à l'opération; le nitre est alors transparent comme de l'eau, car l'oxyde cuivrique s'accumule au fond du creuset. Afin de mieux désagréger la matière, on ne laisse pas refroidir le creuset lentement, on le met au contraire encore très-chaud dans un vase contenant de l'eau distillée, en prenant toutes

1. Pour certains oxydes complexes, et particulièrement pour celui de chrome et de magnésie, il est nécessaire d'ajouter une certaine quantité de carbonate potassique pur pour faciliter l'attaque.

les précautions nécessaires pour éviter les pertes; la matière se détache du creuset avec la plus grande facilité, et il suffit de laver celui-ci avec une pipette pour faire tomber le liquide et pour détacher les plus petites parcelles d'oxyde adhérentes aux parois. Cet oxyde cuivrique (comme les oxydes des autres composés ainsi obtenus) est tellement dense qu'il se lave par décantation avec la plus grande facilité, surtout à l'eau bouillante. Mais, afin de ne pas en perdre, on le recueille sur un filtre sans plis sur lequel on le lave à l'eau chaude.

L'oxyde obtenu après avoir été lavé jusqu'à ce qu'une goutte d'eau de lavage ne laisse plus de résidu sur la lame de platine, est desséché et soumis ensuite à la calcination. Cette opération est la plus délicate, car comme on ne peut pas détacher complétement la matière du filtre pour la brûler à part, le charbon du papier réduit un peu d'oxyde, et le métal mis ainsi en liberté peut faire commettre une erreur de pesée et en outre attaquer la capsule de platine dans laquelle on fait la calcination. Il est vrai que l'on pourrait opérer dans une capsule de porcelaine, mais la réduction n'en aurait pas moins lieu.

Voici le petit artifice qui nous a permis d'employer le platine sans aucune altération et d'obtenir l'oxyde entièrement pur, mêlé cependant avec les cendres mêmes du filtre. Avant que celui-ci soit complétement sec, on le renverse, la pointe en haut et tout ouvert, sur la capsule de platine, en faisant tomber la plus grande partie du précipité dans la capsule, puis on l'humecte d'acide nitrique étendu, et on dessèche à la plus basse température possible, en évitant les pertes par projections; on emploie pour cela la moufle d'un fourneau de coupelle, qui réussit le mieux pour calciner les filtres, attendu que la température y est graduelle et très-régulière; une fois que le filtre est desséché complétement, on l'enflamme au sommet avec une allumette, il brûle alors comme de l'amadou sans la moindre projection; pour plus de sûreté, on ajoute encore une ou deux gouttes d'acide nitrique sur les cendres du filtre, on dessèche de nouveau à l'entrée de la moufle, on calcine l'oxyde et on le pèse, en déduisant le poids des cendres du filtre.

Quant à la liqueur filtrée et aux eaux de lavage de l'oxyde, on les évapore avec addition d'un peu d'acide nitrique pur, pour décomposer le nitrite qui a pu se former pendant la fusion du

nitre, puis on ajoute de l'acide acétique jusqu'à ce que la solution devienne rouge-foncé, enfin de l'acétate plombique en léger excès; il se forme alors un précipité de chromate plombique qu'on recueille sur un filtre, qu'on lave jusqu'à extinction, et qu'on calcine dans une capsule de platine après avoir humecté le filtre avec de l'acide nitrique. Comme contrôle, on peut également, après le lavage du chromate plombique, traiter ce précipité par l'acide chlorhydrique, puis par l'alcool, pour réduire l'acide chromique à l'état d'oxyde. L'excès d'acide est ensuite expulsé, et on dirige un courant d'hydrogène sulfuré pour enlever le plomb; on recueille le précipité sur un filtre, on lave avec soin et on réunit les eaux de lavage à la solution, on évapore le tout, et enfin on précipite l'oxyde chromique par l'ammoniaque. L'oxyde chromique lavé et calciné est ensuite pesé.

L'oxyde chromico-cuivrique, analysé d'après la méthode précédente, a donné dans deux expériences les résultats suivants :

a. 0g.610 de matière ont donné:	*b.* 0g.608 ont donné :
0 .204 d'oxyde cuivrique, et	0 .203 oxyde cuivrique.
0 .4075 d'oxyde chromique	0 .4059 oxyde chromique.

Ces nombres ne laissent aucun doute sur la formule de l'oxyde chromico-cuivrique (Cr^2O^3CuO), puisque les quantités d'oxydes cuivrique et chromique s'y trouvent sensiblement dans le rapport indiqué par cette formule.

Quant à l'oxyde chromico-cuivreux[1], voici les résultats que nous avons obtenus :

		trouvé,	calculé.
2g.060 matière ont donné :	oxyde cuivrique	1.04	0.99
	oxyde chromique	1.09	1.07

L'oxyde cuivrique ainsi obtenu réduit par l'hydrogène a subi une perte de 20.50 p. 100 d'oxygène. La théorie donne 20.17.

La matière elle-même a été réduite par l'hydrogène, dans une nacelle placée dans un tube de porcelaine chauffé au rouge. La perte d'oxygène a été de 0,077 pour 1g.365 de matière employée. La théorie donne pour la formule $Cr^2O^3Cu^2O$[2], une

1. Que l'on obtient par la calcination du chromate tricuivrique dans un creuset couvert et à une température très-élevée.

2. 1846, équivalent du $Cr^2O^3Cu^2O$ perdent 100 d'O, c'est-à-dire l'oxygène de Cu^2O seulement.

perte correspondant à 0,074 pour ce même poids de 1g.365; on voit donc que la différence n'est que dans les milligrammes.

Ce composé réduit par l'hydrogène a été traité par l'acide nitrique, puis additionné d'eau et filtré; on a lavé, desséché et calciné l'oxyde chromique obtenu, il pesait 0,718. La formule donne pour cette même quantité 0,707, la différence provient de ce que les cendres du filtre qui n'avaient pas été retranchées, étaient un peu ferrugineuses.

La densité de l'oxyde chromico-cuivreux est de 5,025.

Les résultats que nous avons obtenus avec plusieurs autres composés et surtout avec les oxydes chromico-manganeux, magnésique, cobaltique, niccolique, zincique, n'étant pas encore définitifs, nous les réservons pour la deuxième partie de ce mémoire. Quelques-uns de ces composés seront d'ailleurs étudiés tout particulièrement, en raison des services qu'ils pourront rendre à l'industrie.

Afin de pouvoir étudier dans ses applications l'oxyde chromico-cuivrique, j'ai remis à M. Salvétat 2^k de chromate tricuivrique, que ce chimiste a eu la complaisance de soumettre à la calcination dans l'étage supérieur du four à porcelaine de la manufacture de Sèvres, en ayant la précaution de ménager l'arrivée d'un courant d'air autour du creuset pour préserver celui-ci de toute action réductrice, suivant la disposition que nous avons indiquée précédemment. Grâce à cet amical concours, j'ai eu à ma disposition une assez grande quantité de composé chromique.

Notre habile imprimeur de la Glacière, M. Onfroy, a bien voulu s'assurer par quelques essais qu'on pouvait fixer l'oxyde chromico-cuivrique sur les tissus, à l'aide de l'albumine et de la gomme adragante, et le mélanger à volonté avec diverses couleurs pour modifier la nuance du noir. Le noir obtenu par ce composé est bien nourri et rappelle celui que l'on obtient avec le charbon; il a l'avantage de s'associer à toutes les couleurs pour donner des teintes particulières veloutées et d'un très-bel effet.

L'oxyde chromico-manganeux [1] donne un brun chocolat qui se comporte très-bien à l'impression.

1. On le prépare en calcinant le nitrate manganeux avec le bichromate potassique, on lessive le produit par l'acide chlorhydrique et l'eau acidulée, comme pour l'oxyde chromico-cuivrique.

L'extrême division des oxydes complexes que nous avons étudiés, les nuances caractéristiques d'un certain nombre d'entre eux et leur grande stabilité, doivent certainement un jour leur faire prendre place sur la palette des peintres.

Quant à leur emploi dans la peinture sur porcelaine, quelques essais exécutés par M. Salvétat permettent de dire que ces composés sont susceptibles d'application à la céramique, et qu'ils pourront entre autres servir dans certains cas à incorporer des doses déterminées d'oxydes colorés dans un état de division qu'il est très-difficile d'obtenir par les moyens ordinaires.

NOTE

SUR UN

APPAREIL A AIR CHAUD ET A TEMPÉRATURE UNIFORME

POUR REMPLACER LES BAINS D'HUILE

PAR M. PERSOZ.

Depuis quelque temps on emploie beaucoup dans les laboratoires, pour chauffer les tubes scellés, des bains d'huile qui ont le défaut d'être assez malpropres, d'exiger une très-bonne cheminée pour enlever les vapeurs d'huile, d'être assez difficiles à régler et de produire des soubresauts quelquefois dangereux en cas de rupture des tubes, l'huile du bain se trouvant alors en contact avec d'autres liquides. Afin d'éviter ces inconvénients, nous avons imaginé l'appareil suivant qui a beaucoup de rapports avec celui que l'on emploie avec succès pour le conditionnement des soies et des laines. Voici en quelques mots la disposition de cette espèce d'étuve.

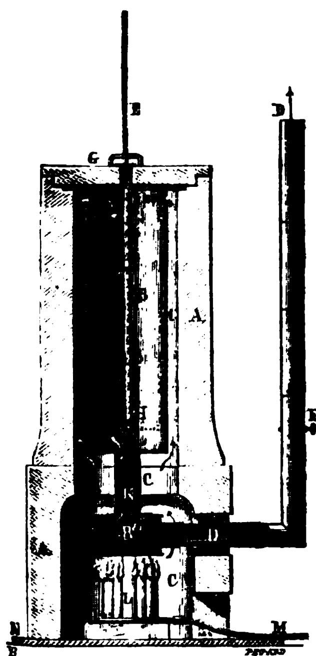


Fig. 3.

La partie principale A est (figure 3) formée de deux cylindres en terre réfractaire de diamètres très-peu différents se posant l'un sur l'autre. Dans l'intérieur se trouve un cylindre de tôle forte B, s'appuyant au moyen d'un rebord de tôle sur le contour du cylindre supérieur et laissant entre lui et ce cylindre un espace annulaire d'environ 5 centimètres; à ce cylindre de même métal est ajusté au moyen du bout de tuyau K, un autre cylindre d'un diamètre un peu plus petit et sur lequel s'ajustent latéralement des bouts de tuyaux qui se rendent dans une cheminée. Le tuyau D passe par une ouverture ménagée et lutée ensuite dans l'épaisseur de la terre cuite. Le cylindre B est ouvert à la partie su-

périeure et percé près de l'orifice de 16 trous de 0,023 de diamètre donnant passage à l'air chaud. On ferme tout l'appareil à l'aide d'un couvercle C en terre réfractaire comme la partie A, et percé à son centre d'un trou laissant passage au thermomètre E dont le réservoir d'environ $0^m,50$ de longueur est enveloppé dans une chemise en tôle ou en cuivre percée à jour; l'échelle du thermomètre dépasse le couvercle et les degrés qui sont très-espacés permettent d'observer facilement la température de l'appareil. Une plaque de tôle percée de trous H est fixée à une certaine distance du fond du cylindre pour éviter le rayonnement direct de la chaleur, et au besoin peut servir à poser les tubes. Voici maintenant comment fonctionne l'appareil. On allume le système de becs de Bunsen L amenant le gaz à l'aide d'un tube en caoutchouc M; le gaz chauffe directement le fond du cylindre B′, puis l'espace annulaire compris entre le cylindre de tôle et l'enveloppe en terre réfractaire qui est très-épaisse; le courant d'air chaud passe ensuite par les trous supérieurs et latéraux du cylindre de tôle dans le cylindre B lui-même, en suivant le sens indiqué par les flèches, puis dans le cylindre B′ et enfin dans le tuyau D qui le conduit dans la cheminée; la clef F sert à régler le tirage. Une fois que l'enveloppe est chauffée, ce qui exige un temps assez long, la température est très-facile à régler, et elle est uniforme dans toute la hauteur du cylindre. On peut arriver facilement à 300° avec un appareil à gaz convenable et maintenir cette température pendant plusieurs jours de suite sans variations sensibles, parce que l'enveloppe, une fois échauffée, conserve longtemps sa chaleur.

Cet appareil a l'avantage d'être très-propre et de pouvoir servir à chauffer non-seulement des tubes scellés enfermés dans des tubes de fer, mais encore des ballons scellés que l'on suspend à l'aide d'un crochet aux trous du cylindre, ce que l'on ne peut pas faire avec les bains d'huile, en raison de leurs petites dimensions. Il va sans dire que l'on peut construire cet appareil à très-bon marché en remplaçant l'enveloppe cylindrique en terre réfractaire, qui est d'un seul morceau, par des briques convenablement disposées, l'intérieur étant alors formé par des tuyaux en briques cylindriques qui servent pour la construction des cheminées. L'appareil entier repose sur une plaque de fonte ou de tôle N qui préserve le plancher du contact direct de l'appareil de chauffage.

NOTE

SUR LA

PRÉPARATION DU NITRITE POTASSIQUE

PAR M. PERSOZ.

Proust démontra qu'on pouvait obtenir le nitrite potassique en calcinant le nitrate potassique à une température élevée. Plus tard, Gay-Lussac donna la composition de ce sel et fit voir qu'il se dégageait pendant l'opération une quantité d'oxygène égale aux deux cinquièmes de celle contenue dans l'acide nitrique du nitrate employé; et de plus qu'il se formait un composé non isolable, l'acide nitreux, qui s'unissait alors à la potasse pour former le nitrite potassique.

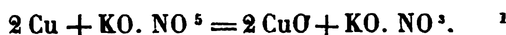
Mais ce mode de préparation du nitrite donne un rendement très-faible, et exige plusieurs cristallisations successives pour séparer l'excès de nitre non décomposé.

Comme l'emploi des nitrites peut acquérir de l'importance, nous nous sommes demandé si l'on ne pourrait pas trouver un corps capable d'enlever à l'acide nitrique du nitrate potassique les deux cinquièmes d'oxygène en excès pour former le nitrite, et notre choix est tombé sur le cuivre. Dans ces dernières années, M. Wöhler a donné un excellent procédé pour préparer la potasse pure, en chauffant au rouge un mélange de une partie de salpêtre avec deux ou trois parties de cuivre métallique en petits morceaux.

En modifiant les conditions de l'opération, nous sommes arrivés à un procédé très-simple, facile à reproduire dans un cours de chimie, et qui permet d'obtenir une assez grande quantité de nitrite potassique qu'une seule cristallisation fournit sensiblement pur.

On commence par préparer du cuivre métallique très-divisé, en distillant l'acétate cuivrique; on prend ensuite deux équivalents

ou même un léger excès de ce cuivre récemment préparé pour un équivalent de nitre d'après l'équation



$$2\,Cu + KO.\,NO^5 = 2\,CuO + KO.\,NO^3.$$ [1]

Pour que le mélange soit bien intime, on dissout préalablement le nitre dans très-peu d'eau chaude, et on ajoute le cuivre qui d'abord ne se mouille que difficilement. Quand le mélange est bien homogène, on évapore dans une capsule de porcelaine ou mieux dans une bassine de fonte chauffée au bain de sable en remuant constamment pour empêcher les projections. La matière étant desséchée complétement, il arrive un moment où elle prend feu comme du pyrophore; lorsque la combustion est terminée, ce qui a lieu presque immédiatement, la réaction est opérée; on laisse alors refroidir et on traite par l'eau qui dissout le nitrite; on filtre et on fait cristalliser le produit. Si l'on a employé un excès de cuivre, il n'y a pas de nitrate et on obtient du premier coup le nitrite cristallisé, qu'il suffit ensuite de fondre et de renfermer dans des flacons bien bouchés, parce que ce composé est très-hygrométrique. S'il y avait du nitrate non décomposé, il serait séparé par la première cristallisation, vu qu'il est beaucoup moins soluble que le nitrite. L'oxyde de cuivre obtenu comme résidu de l'opération, étant bien lavé, peut servir particulièrement pour l'analyse organique, ou tout au moins pour le mélange de la matière organique, parce qu'il est très-dense quoique très-divisé, et n'est pas aussi hygrométrique que celui obtenu par la calcination du nitrate.

Il est à remarquer que le cuivre ordinaire, même très-divisé, ne remplirait pas les conditions voulues pour cette expérience, parce qu'alors il faudrait élever beaucoup la température, et on obtiendrait de la potasse caustique plutôt que du nitrite, tandis qu'avec le cuivre de l'acétate la réaction a lieu vers 200 à 250 degrés.

1. Nous avons opéré sur 320 grammes de nitre et 200 de cuivre de l'acétate.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

SUR LES TUYAUX EN PAPIER BITUMÉ DE MM. JALOUREAU.

Messieurs Jaloureau ont établi depuis plusieurs années, à Asnières, une fabrication assez importante de tuyaux en papier bitumé. Ces tuyaux sont généralement obtenus, sur une longueur de 1 mètre 50, par l'enroulement, sur un mandrin cylindrique, d'une feuille de papier recouverte de bitume sur ses deux faces. Les tours, superposés comme le sont ceux d'un rouleau de papier ordinaire, se trouvent soudés les uns aux autres par le bitume, et l'ensemble constitue un tuyau parfaitement cylindrique, lisse en dedans, et un peu sablé en dehors, comme nos dallages.

Chaque bout de tuyau est terminé par une douille mince en fonte, légèrement conique, s'évasant en forme de bride, pour s'assembler avec la bride voisine au moyen de boulons. L'épaisseur de la douille, au lieu d'être uniforme, est beaucoup moindre à sa naissance. De là sans doute une grande légèreté dans les tuyaux; mais nous verrons bientôt qu'au point de vue de la résistance à la pression intérieure, le tuyau lui-même, bien que construit en papier, satisfait mieux que les douilles aux conditions d'une bonne fabrication.

Les douilles sont aussi légèrement coniques à l'intérieur; l'intervalle, d'inégale épaisseur, qui existe entre elles et le tuyau est rempli de bitume liquide qui colle toutes les parties ensemble et leur assure une solidarité suffisante.

Le procédé d'enroulement qui vient d'être indiqué ne pouvant être réalisé que pour des surfaces développables, tous les coudes, dans les conduites établies par MM. Jouloureau, sont exclusivement faits en fonte, et dans les conditions ordinaires.

Quatre modèles de tuyaux cylindriques ont été successivement essayés à la presse hydraulique; à cet effet, les deux bouts ont été fermés par des brides pleines, et c'est sur l'une de ces brides que l'on a vissé le raccord de la pompe d'injection. La pression a été

observée chaque fois sur un manomètre à air libre, du système Galy Cazalat.

Voici les dimensions des tuyaux avec l'indication des observations qui ont été faites.

Tableau des expériences faites sur les tuyaux de MM. Jaloureau.

LONGUEUR des tuyaux.	DIAMÈTRE extérieur.	DIAMÈTRE intérieur.	EPAISSEUR.	RAPPORT entre l'épaisseur et le diamètre intérieur.	POIDS DU TUYAU avec ses brides.	POIDS DU TUYAU sans ses brides.	ÉPAISSEUR de la douille à sa naissance.	PRESSION à laquelle les tuyaux ont été soumis.	OBSERVATIONS.
	mil.	mil.	mil.		k.	k.	mil.	atm.	
1.50	75	50	12.5	0.250	7.0	5.0	1.5	24	Fuite d'un joint.
1.50	105	80	12.5	0.156	12.3	9.1	2.5	15	Fuite d'un joint.
1.50	135	100	17.5	0.175	21.7	16.3	3.0	15	Rupture d'une douille.
1.50	200	160	20.0	0.125	41.6	27.0	3.0	18	Rupture d'une douille.

Les boulons sont au nombre de trois pour chaque *bride*, et il n'a pas été toujours possible de serrer complétement les joints sans briser les oreilles. C'est pour cela que les expériences n'ont pu être portées chaque fois jusqu'à la rupture. Dans les cas mêmes où la rupture a été déterminée par la pression intérieure, c'est toujours la douille qui a cédé.

On voit par ces chiffres que les tuyaux de MM. Jaloureau résistent généralement à une pression de 15 atmosphères, ce qui est plus que suffisant pour les besoins de la pratique.

Les ruptures des deux douilles se sont produites suivant la direction de deux génératrices, et il importe de remarquer que les tuyaux en papier sont restés intacts sous la fissure, d'où l'on peut conclure que le papier résiste, dans ces conditions, mieux que la fonte, alors que l'épaisseur du papier est six ou sept fois plus grande que celle du métal. Le papier bitumé étant plus élastique, peut s'étendre sous l'action de la pression intérieure beaucoup plus que ne fait la fonte.

Pour nous rendre compte de la résistance qu'une conduite faite avec ces tuyaux pourrait opposer à l'influence du tassement des terres, nous avons fait reposer le tuyau de $0^m,105$ par les bords de ses brides, sur deux supports, et nous l'avons chargé en son

milieu d'un poids de 50 kilog.; la flèche mesurée au cathétomètre n'a pas dépassé 20 millimètres, et elle n'est restée que de 5 millimètres après le déchargement; sous ce rapport encore ce mode de construction résiste beaucoup mieux que ne semblerait l'indiquer la nature des matériaux employés, qui peuvent ainsi servir à l'établissement de canalisations à la fois légères et résistantes.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers,

H. TRESCA.

Paris, le 23 juin 1861.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

SUR LA MACHINE A SÉPARER LA LIMAILLE DE FER

de M. VENNIN-DEBREGNAUX, de Lille.

M. Vennin a imaginé de construire, pour les ateliers dans lesquels on travaille à la fois du fer et du cuivre, un petit appareil destiné à opérer la séparation des limailles mélangées de ces deux métaux.

Les matières à trier sont versées dans une trémie, d'où elles s'écoulent sur un plan incliné, dont l'action est facilitée par les chocs légers et fréquemment renouvelés d'un véritable babillard. Au-dessous de l'orifice de sortie elles tombent sur un tambour cylindrique en cuivre, à la surface duquel viennent effleurer les extrémités d'un certain nombre d'aimants en fer à cheval.

La limaille de fer doit être retenue par ces aimants, jusqu'à ce qu'elle soit détachée par l'action d'une brosse, tournant autour d'un axe parallèle à celui du tambour : celle des autres métaux tombe, isolée, dans une boîte spéciale, où on la recueille après chaque opération.

Pour apprécier, sur la demande de l'inventeur, le fonctionnement de sa machine, nous l'avons fait tourner à raison de 32 tours par minute, en l'alimentant avec un mélange formé de 23^k.60 de tournures de fer et de fonte et de 12^k.00 de limailles et de tournures de cuivre. Les copeaux de fer avaient été à dessein conservés entiers, et lors du mélange, des fragments de cuivre s'étaient en grand nombre engagés dans leurs spires.

Diverses opérations ont successivement été faites pour arriver une plus complète séparation.

Dans la première, on a recueilli 12^k.20 de cuivre, mélangé de quelques gros copeaux de fer, particulièrement de fragments en partie couverts en rouille, et 23^k.40 de limaille de fer.

On n'a opéré en second lieu, que sur ce dernier produit, dont on a extrait à la seconde passe $2^k.40$ de limaille de cuivre à peu près pure.

Dans une troisième opération on a traité les 21 kil. restants, ce qui a produit environ $1^k.80$ de cuivre.

Le cuivre ainsi recueilli n'étant pas parfaitement pur, on l'a soumis de son côté à deux opérations complémentaires, qui ont fourni respectivement $3^k.10$, et ensuite 2 kil. de limaille de fer.

Les premières opérations ont duré 20 minutes chacune; les suivantes n'ont employé qu'un temps proportionné au poids de la matière soumise à l'action de la machine. On peut compter d'une manière générale sur une préparation de 100 kilogrammes par heure.

La séparation n'était pas encore tout à fait complète : les morceaux de fonte rouillés et les gros copeaux de fer restaient mélangés avec le cuivre; mais en les enlevant à la main on a obtenu un lotissement très-satisfaisant des deux métaux primitivement mélangés, avec perte de $0^k.70$ seulement de limaille de cuivre, ainsi qu'on peut le voir par l'ensemble des chiffres fournis par toute cette série d'opérations.

Tableau des expériences sur la machine de M. Vennin-Deregnaux, pour séparer la limaille de fer de la limaille de cuivre, 12 avril 1861.

	POIDS DE LA LIMAILLE recueillie dans la caisse destinée au		POIDS TOTAL.
	CUIVRE.	FER ET FONTE.	
Mélange primitif	$12^k.00$	$23^k.60$	$35^k.60$
1re opération	12 .20	23 .40	35 .60
2e opération	14 .60	21 .00	35 .60
3e opération	16 .40	19 .20	35 .60
4e opération	13 .30	22 .30	35 .60
5e opération	11 .30	24 .30	35 .50

Le cuivre ainsi recueilli était complétement exempt de tout mélange de fer.

Pour se servir avec avantage de la machine de M. Vennin-Deregnaux, il est nécessaire d'enlever les plus gros fragments par un tamisage préalable, de briser les spires des copeaux, afin que les parcelles plus petites ne puissent être retenues entre ces spires; à l'aide de ces précautions, une seule passe sera généralement suffisante.

34 kilogrammes de limailles ainsi préparées nous ont, du premier coup, fourni 11k.70 de cuivre, et 22k.30 d'un mélange de fer et de fonte, retenant à peine quelques parcelles, presque impondérables, de cuivre.

C'est donc ainsi qu'il convient d'employer l'appareil, dans le cas où l'on ne pourrait, dans un atelier, recueillir séparément le métal dont la limaille a une certaine valeur.

La machine de M. Vennin ressemble beaucoup comme principe à celle que M. Froment a depuis longtemps construite, à la demande de M. Chenot, pour le triage, en grande exploitation, des minerais de fer. Cette machine dont plusieurs exemplaires fonctionnent industriellement, particulièrement en Toscane, peut trier par jour jusqu'à 4 à 5000 kilogr. de minerai[1]. L'aimantation beaucoup plus puissante est déterminée par un courant électrique, qui agit en temps convenable sur chacune des 48 bobines qui constituent l'appareil, et dont l'action cesse aussitôt que les parcelles, attirées d'abord, peuvent être abandonnées à l'action de la pesanteur. M. Vennin ne s'est pas proposé des résultats aussi considérables; son appareil n'est qu'un outil de plus dans un atelier, et s'il était possible de le construire à bon marché, cet outil rendrait certainement dans la pratique de très-bons services. Son mode de construction actuel nous parait exiger une dépense un peu élevée, eu égard à sa destination; mais cette considération serait sans doute peu importante s'il était appelé à travailler d'une manière continue, pour le triage à façon des tournures et des limailles d'un grand nombre d'ateliers distincts. Il n'exige

1. M. le professeur Burci, de Pise, vient de publier une notice intéressante sur l'application d'une machine semblable au triage des minerais cuprifères du Piémont.

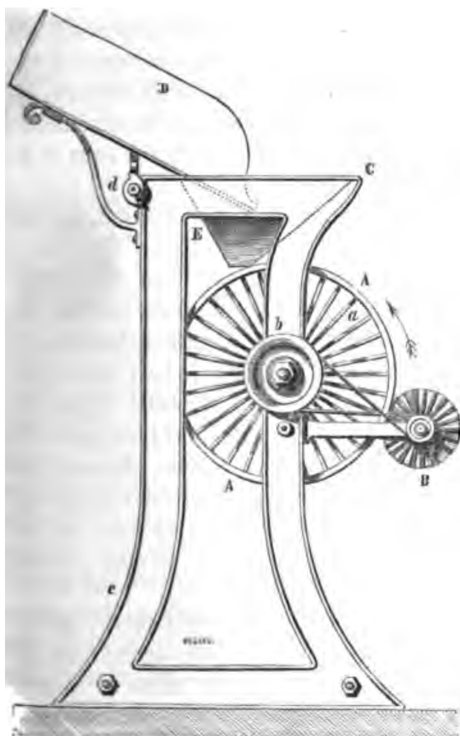
d'ailleurs qu'une simple transmission de mouvement; il peut agir sans surveillance, et il est toujours prêt à fonctionner.

L'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers, H. TRESCA.

12 août 1861.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

La figure ci-jointe représente l'appareil de M. Vennin.



A est le tambour formé par les aimants *a*, en fer à cheval, qui ne sont vus sur le dessin que par leur épaisseur.

B brosse cylindrique chargée de détacher les limailles de fer : elle est animée d'un mouvement continu de rotation, qui lui est transmis par la poulie *b* de l'arbre du tambour.

C bâti de la machine.

D table inclinée, constamment agitée par le babillard *d*.

E trémie dans laquelle tombent les limailles, avant de venir au contact des aimants du tambour.

Le tambour tourne dans le sens qui est indiqué par la flèche : les parcelles non retenues tombent à gauche de l'appareil : le fer et la fonte se recueillent à droite, au-dessous de la brosse B.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

SUR UN COMPTEUR A EAU DE M. HIRT.

Le compteur à eau de M. Hirt, qui a été expérimenté au Conservatoire impérial des arts et métiers, est du genre de ceux qui fonctionnent à la manière d'une machine à colonne d'eau : le liquide en s'écoulant fait varier la position de tiroirs, qui ferment et qui ouvrent des orifices, situés respectivement à l'entrée de deux capacités, qui se remplissent tour à tour et qui mesurent le débit.

Ces deux capacités, entièrement distinctes, constituent, par leur ensemble, un appareil intermédiaire entre le tuyau d'arrivée et le tuyau de sortie. Elles ont chacune la forme d'un demi-cylindre vertical, dans lequel l'eau pousse une cloison mobile, qui rappelle, par sa disposition, le piston de certaines machines à vapeur rotatives. Ces cloisons mobiles font à leur tour fonctionner les taquets qui déplacent les tiroirs, de telle façon que, quand une capacité est remplie et que la cloison est au bout de sa course, l'arrivée de l'eau sur l'autre face puisse chasser celle qui était entrée tout à l'heure. A cet effet, chacun des tiroirs agit sur deux orifices qu'il peut clore tous deux à la fois, ou dont l'un seulement est, à certains points de la course, ouvert à l'entrée ou à la sortie du liquide.

Les deux taquets sont indépendants l'un de l'autre, et l'un d'eux seulement fait fonctionner les rouages d'un compteur, qui enregistre le nombre des alternances et par suite le volume écoulé.

Dans le modèle sur lequel nous avons opéré, la roue de comptage devait, d'après la contenance des deux cylindres, faire deux tours pour un débit de 100 litres; le nombre de ses dents étant de 18, on voit que ce volume d'eau devait correspondre au passage de 36 dents, chaque passage d'une dent indiquant par conséquent un débit de $100 : 36 = 2,788$ litres.

L'installation des réservoirs de la salle d'expérience a permis de faire varier, dans de larges limites, les circonstances de l'écoulement, dans l'appareil de M. Hirt. En l'adaptant, au moyen d'une bride, à la bouche du tuyau qui dessert tous les réservoirs de la tour, nous avons pu faire varier la pression de 3 à 9 mètres, tandis qu'en ouvrant plus ou moins, soit la vanne de la conduite, soit le robinet du compteur, nous avons pu ralentir à volonté le débit.

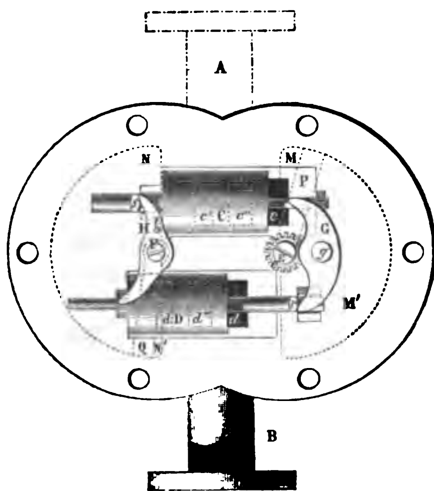


Fig. 1.

L'eau écoulée était directement conduite, au moyen d'un tube de caoutchouc, dans des mesures d'hectolitre, placées l'une à côté de l'autre : au moment où le liquide affleurait le bord de la mesure, il suffisait de déplacer le caoutchouc, pour que l'écoulement s'opérât dans la mesure voisine. Le mesurage se faisait ainsi d'une manière très-exacte, sans aucune perte d'eau, et pour rendre les erreurs plus appréciables, nous les avons pour ainsi dire additionnées, en notant les indications du compteur à chaque hectolitre, mais sans ramener jamais l'index en arrière.

Le tableau suivant permettra de voir avec quelle approximation les indications du compteur sont exactes :

Tableau des expériences faites sur le compteur à eau de M. Hirt.

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT RÉEL en litres.	DURÉE de l'expérience.	LITRES DÉBITÉS par seconde.	HAUTEUR de charge.	DEGRÉ d'ouverture de l'orifice.	NOMBRES de dents au compteur	DÉBIT CALCULÉ correspondant.	ERREUR proportionnelle.
1	1000	15'	66.7	9m	ouvert	353.5	981.93	−0.01807
2	1000	15	66.7	9	ouvert	359.9	998.61	−0.00139
3	1000	14	71.4	9	ouvert	363.5	1009.72	+0.00972
4	1000	14	71.4	9	ouvert	365.5	1015.27	+0.01527
5	1000	»	»	9	ouvert	366.5	1018.05	+0.01805
6	600	»	»	9	fréquemm. refermé	222.0	616.66	+0.02778
7	400	61	6.5	9	peu ouvert	146.0	405.56	+0.01389
8	400	12	33.3	3.5	ouvert	147.5	409.72	+0.02431
9	400	»	»	3.5	ouvert	147.0	408.33	+0.02083
10	200	»	»	3.5	presque fermé	73.0	202.78	+0.01389
	7000						7066.63	+0.00952

L'appareil de M. Hirt fonctionne d'une manière satisfaisante: l'écart moyen pendant les expériences est, d'après les chiffres précédents, de un centième environ du volume réellement débité.

L'erreur la plus grande s'est produite dans la sixième expérience : elle s'est élevée jusqu'à près de 3 centièmes; mais pendant toute la durée de cet essai, on a ouvert et fermé le robinet à chaque instant, de manière à exagérer autant que possible l'influence de la mise en train.

Il faut remarquer, en outre, que les résultats ne peuvent être aussi concordants, qu'à la condition d'avoir un contact parfait dans toutes les positions des cloisons, qui font l'office de pistons. Pour atteindre complétement ce but, M. Hirt les garnit dans leur épaisseur à la manière des pistons de pompes : l'usage prolongé de l'appareil peut seul dire si ces garnitures resteront étanches.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 14 juin 1861.

Vu : Général MORIN. H. TRESCA.

Le mécanisme du compteur de M. Hirt peut être compris à l'aide de la figure ci-jointe, qui représente les tiroirs de l'appa-

reil, tels qu'on les voit lorsque l'on a enlevé le couvercle, qui porte le cadran et sous lequel l'eau est toujours librement admise : elle arrive par une tubulure A que l'on a indiquée en pointillé sur le dessus.

La tubulure B sert à l'écoulement de l'eau, mais elle n'est aucunement en communication avec la boîte supérieure qui contient les tiroirs.

C, tiroir en forme de coquille recouvrant, dans toutes ses positions, l'une des ouvertures *c*, *c'*, *c''* dont nous indiquerons plus loin les fonctions.

D, autre tiroir agissant sur les trois autres ouvertures *d*, *d'*, *d''* dont l'objet sera ci-après indiqué.

E, axe vertical avec lequel l'un des pistons verticaux est solidaire : la capacité dans laquelle ce piston se meut est hémicylindrique, elle communique respectivement, de chacun des côtés du piston, avec les orifices *c* et *c'*.

F, autre axe vertical sur lequel est calé l'autre piston Q, qui se meut également dans une boîte hémicylindrique, communiquant avec les orifices *d* et *a'*.

Les orifices intermédiaires *c''* et *d''* sont constamment en communication avec la tubulure B du tuyau de sortie de l'eau.

Pour fixer les idées nous désignerons par M et M' les deux chambres du premier cylindre, par N et par N' les deux chambres du second.

Dans la position que représente la figure, l'eau entre librement, par l'orifice *c* qui est découvert, dans le compartiment M, elle pousse le piston P, et l'eau qui est contenue dans la chambre M', passant par un conduit intérieur de M' en *c'*, arrive sous la coquille du tiroir, passe par l'orifice *c''* et s'écoule au dehors par le tuyau B.

Pendant tout ce temps l'orifice *d* sera resté ouvert, mais aucune quantité d'eau ne sera entrée dans la capacité correspondante N, qui était antérieurement remplie et dans laquelle le piston était arrivé à l'extrémité de sa course vers N'.

Cependant le tiroir D n'est pas resté immobile : un pignon denté *e*, qui porte l'arbre vertical E, engrène avec un autre pignon *g*, calé sur un arbre intermédiaire, portant une came G de forme convenable. Lorsque le piston P approche de l'extrémité de sa course, l'extrémité de cette came vient agir sur un mentonnet

r qui fait partie de la tige du tiroir D, et à l'aide duquel ce tiroir est entraîné de manière à découvrir l'orifice *d'* et à recouvrir en même temps l'orifice *d*.

Le compartiment N' se remplit alors, et le piston Q chasse l'eau du compartiment N, par l'orifice d'entrée *d*, qui lui correspond, et par l'orifice d'écoulement *d'* sous la coquille du tiroir.

Mais ce piston Q ne peut tourner sans entraîner avec lui son arbre F et la came H, qui doit jouer par rapport au mentonnet *s* du tiroir C le même rôle que la came G vient d'exercer sur le mentonnet *r* du tiroir D.

Ce tiroir, en se déplaçant, découvre l'orifice *c'* et recouvre l'orifice *c*, de telle manière que l'eau peut à la fois entrer dans la capacité M' par l'orifice *c'*, et sortir de la capacité M par les orifices *c* et *c''*, et le tuyau général d'écoulement B.

Le piston arrivera ainsi à sa position première, et la même came G, agissant par son autre extrémité sur le même mentonnet *r* que précédemment, ramènera le second tiroir dans sa fonction primitive.

Enfin l'eau, entrant en *d*, poussera le piston Q de N vers N', et le compartiment N' se videra par les orifices *d'* et *d''*.

Tous les organes seront ainsi revenus dans les positions que représente le dessin, et la succession des mêmes circonstances assurera le fonctionnement continu de l'appareil, qu'il aurait été difficile de faire comprendre sans entrer dans tous les détails qui précèdent.

Quant à l'enregistrement du nombre des alternances, il se produit simplement à l'aide d'un petit bouton *t* de la came H sur un système de rouage d'horlogerie, au moyen d'une roue à rochet.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

DE TRACTION FAITES SUR UNE COURROIE SOUDÉE

de MM. LAWRENCE Frères.

M. Lawrence ayant proposé, pour les transmissions des machines en mouvement du Conservatoire, l'emploi de leurs courroies soudées, nous avons pensé qu'il serait utile de déterminer la charge jusqu'à laquelle ces soudures résisteraient, et en l'absence de toute donnée sur les allongements des courroies de cuir, nous avons mis à profit cette circonstance pour observer avec un cathétomètre ceux qui se sont successivement produits pendant le chargement.

Le procédé de collage employé par M. Lawrence est celui qui a été breveté le 10 décembre 1856, par M. Bonneau : l'opération se fait à chaud, avec une colle formée d'une dissolution de gutta-percha, à laquelle on ajoute un peu de cuir râpé; on peut employer comme dissolvant le sulfure de carbone, la benzine, le chloroforme ou l'essence de térébenthine; on imprègne chacune des parties à réunir avec la dissolution; on les rapproche; on opère sur les parties rapprochées une pression suffisante; enfin on lave au sulfure de carbone et on laisse sécher.

La courroie que MM. Lawrence ont mise à notre disposition avait une section de 0.068×0.006 ou de 4.08 centimètres carrés : elle était d'excellente qualité; mais dans la longueur soumise à la traction, elle était composée de trois parties réunies par simple collage, suivant un biseau très-long, formé dans l'épais-

seur de chacune des parties rapprochées; les joints collés n'avaient pas une surface inférieure, chacun, à 0.068 × 0.140 ou 95.20 centimètres carrés. La surface de joint est ainsi 23 fois aussi grande que la section de la courroie, et l'on comprend qu'elle puisse présenter une très-grande résistance; les figures ci-jointes indiquent d'ailleurs les dispositions très-rationnelles qui sont prises pour donner à cette sorte d'enture toute la régularité désirable, et pour empêcher la séparation des deux parties; les extrémités amincies de chaque brin sont à cet effet noyées dans l'entaille formée dans l'épaisseur de l'autre.

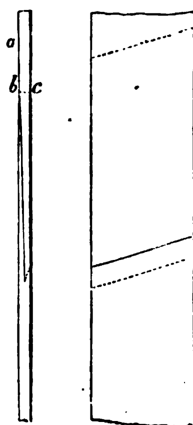


Fig. 1.

La courroie était pendant l'expérience suspendue à un point fixe : à la partie inférieure elle supportait un plateau, que l'on a successivement chargé de poids. Deux repères, placés à 1m.43 l'un de l'autre, ont été chaque fois visés respectivement, et au même moment, avec deux cathétomètres; les résultats des observations sont réunis dans le tableau suivant :

Tableau des expériences faites le 4 juin 1861 sur une courroie soudée de MM. Lawrence frères.

Longueur entre les repères. . . . . $1^{m}.43$

Section. . . . . $0.068 \times 0.006 = 0^{mq}.000408$

CHARGES en kilogrammes.	CHARGES en kilogrammes par centim. carré.	ALLONGEMENTS totaux en millimètres.	ALLONGEMENTS totaux en millimètres par mètre.	ALLONGEMENTS en millimètres par 100 kilogrammes.	ALLONGEMENTS par mètre et par 100 kilogrammes.
0		0.00	0.00	0.00	0.00
32	7.84	14.26	9.98	44.62	31.16
64	15.68	24.62	17.23	38.46	26.90
96	23.52	46.10	32.27	48.02	33.58
128	31.37	57.28	40.09	44.75	31.29
160	39.21	68.48	47.93	42.80	29.94
192	47.05	77.68	54.37	40.45	28.29
224	54.90	101.84	71.29	45.46	31.79
256	62.74	110.20	77.14	43.04	30.10
288	70.59	119.42	83.59	41.46	28.99
320	78.43	127.74	89.42	39.91	27.91
352	86.27	136.38	95.47	38.74	27.09
384	94.11	144.84	101.39	37.71	26.38
416	101.95	152.34	106.64	36.61	25.59
448	109.80	161.64	113.15	36.08	25.23
480	117.64	169.64	118.75	35.34	24.71
612	125.49	176.54	123.58	34.48	24.11
544	133.33	184.44	129.11	33.99	23.70
576	141.18	191.44	134.01	33.23	23.24

A cette charge le plateau a touché le sol et on a complétement déchargé : la courroie s'est raccourcie et a conservé un allongement permanent de 0.12273 entre les repères.

On a relevé le point de suspension et l'on a chargé à nouveau.

La longueur des repères était en commençant 1.43 + 0.12273 = 1.55273.

CHARGES en kilogrammes.	CHARGES en kilogrammes par centim. carré.	ALLONGEMENTS en millimètres.	ALLONGEMENTS totaux en millimètres par mètre.	ALLONGEMENTS en millimètres par 100 kilogrammes.	ALLONGEMENTS par mètre et par 100 kilogrammes.
0	0	0.00		0.00	0.00
192	47.05	46.70	30.06	24.	15.70
384	94.11	73.70	47.46	19.	12.38
576	141.18	93.00	59.88	16.	10.40
608	149.02	108.35	69.77	18.	11.48
640	156.86	114.50	73 73	18.	11.43
672	164.71	119.04	76.65	18.	11.41
704	172.55	129.90	83.64	18.	11.88
736	180.09	137.54	88.56	18.	12.04
768	188.22	142.76	91.72	19.	11.79
800	196.08	150.10	96.65	19.	12.09

La rupture s'est produite au moment même de l'observation de ce dernier allongement.

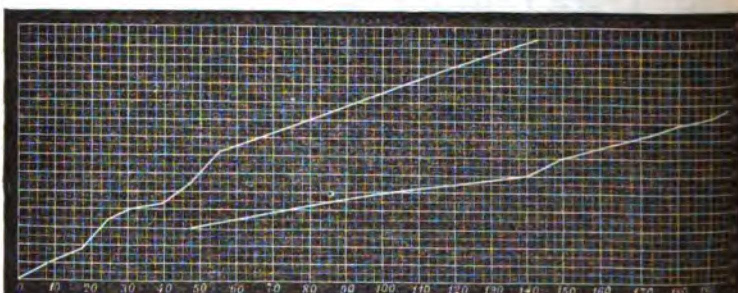


Fig. 2.

Nous avons représenté dans la figure ci-jointe la relation entre les charges par centimètre carré et les allongements correspondants par mètre. La courbe est extrêmement remarquable en ce qu'à partir du point qui correspond à 54^k.90, elle devient exactement une ligne droite; les charges inférieures semblent amener la courroie à un état moléculaire tel, que pour les charges supérieures, les allongements varient, avec une rigoureuse exactitude, proportionnellement aux charges. De 54^k.90 à 141^k.18, c'est-à-dire pour une différence de 86.28 par centimètre carré, l'allongement par mètre s'élève proportionnellement jusqu'à

134.01 — 71.29 = 62.72 millimètres, ce qui donnerait entre ces limites pour la valeur du coefficient d'élasticité

$$E = \frac{86.28}{0.06272 \times 0.0001} = 13\,750\,000.$$

L'allongement du cuir neuf, préalablement tendu à raison de 50 kilogr. par centimètre carré, est d'après cela 1400 fois plus grand que celui du fer à égalité de charge et de section.

Mais ce chiffre paraît se modifier d'une manière notable quand la courroie a préalablement été soumise à une charge de 140 kil. par centimètre carré.

Dans la deuxième série des expériences les allongements sont encore proportionnels aux charges depuis 47.05 kilogr. par centimètre carré jusqu'à 141.18, mais à partir de ce moment l'élasticité paraît altérée. L'allongement par mètre qui correspond à cette différence de 94.13 est de 59.88 — 30.06 = 29.82 millimètres, ce qui conduirait pour le même intervalle à un coefficient d'élasticité $E = \frac{94.13}{0.02982 \times 0.0001} = 31\,500\,000$. Cette valeur est plus que double de celle qui vient d'être calculée; à égalité de charge et de section, l'allongement serait encore 600 fois aussi grand que celui du fer.

Si la tension primitive, que l'on fait habituellement subir aux courroies avant de les mettre en service, s'élevait, comme à la fin de notre première expérience, à 141 kilogr. par centimètre carré, l'allongement permanent qu'on lui ferait subir serait d'environ $\frac{0.12273}{1.43} = 0.086$ ou un douzième de sa longueur primitive : on peut atteindre ce chiffre sans inconvénient, puisque l'on voit par la seconde série d'expériences que lès cuirs de bonne qualité restent encore élastiques après cette tension préalable.

La rupture s'est produite sous une charge totale de 800 kilogrammes, ou de 196 kilogrammes par centimètre carré. Il ne serait pas possible dans la pratique d'atteindre cette limite, mais on doit admettre avec les chiffres qui précèdent, qu'une charge de 140 kilogrammes par centimètre carré est parfaitement acceptable.

Quant aux soudures, elles se sont parfaitement comportées dans tous les essais : aux dernières charges seulement le cuir

s'est plissé, en forme de gouttière, près du point de suspension, et bientôt après les deux brins se sont séparés dans l'enture supérieure : le décollage s'est produit de *a* en *b* sur une longueur de 15 millimètres et la courroie s'est rompue en *bc*, le côté de la chair étant en *b*.

Les deux autres joints n'ont subi, ni pendant la charge, ni lors de la rupture, aucune avarie.

Pour apprécier l'influence de l'humidité on a immergé pendant vingt-quatre heures l'un des joints dans de l'eau à la température ordinaire. Après cette immersion les deux parties étaient encore parfaitement adhérentes, et l'on n'a pu les séparer, même en cherchant à introduire une lame de couteau entre les deux cuirs.

Le procédé de collage de M. Lawrence résiste donc lorsqu'il est bien exécuté, d'une manière complète, jusqu'à une charge de 170 kilogr. par centimètre carré.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

H. TRESCA.

Paris, le 13 juillet 1861.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

DU CHOC ENTRE CORPS SOLIDES

EN TENANT COMPTE DE LEUR CONSTITUTION PHYSIQUE.

(Étude comprenant l'analyse donnée par MOSELEY, dans son ouvrage *The Mechanical principles of Engineering*).

Applications de la théorie aux principaux cas de la pratique.

COIN. — SONNETTE. — BALANCIER.

PAR CH. LABOULAYE.

---

1. La théorie du choc des corps, telle qu'elle a été longtemps présentée, paraît souvent obscure aux jeunes gens qui la rencontrent pour la première fois. Établie en mécanique rationnelle comme s'appliquant à des corps définis uniquement par leur masse ou constitués théoriquement d'une manière fictive, on ne doit pas la considérer comme applicable, sans restriction, à des corps doués de leurs propriétés physiques, et non plus réduits à une simple abstraction; composés de particules réunies par des forces moléculaires, et pour lesquels la communication des pressions n'est jamais ni instantanée ni dénuée de réactions. C'est par une semblable confusion que le théorème de Carnot, fournissant la mesure de la destruction des forces vives dans le choc, a pu paraître infirmer le grand principe de la *Conservation des forces vives*, loi fondamentale qui paraît la plus générale de celles qui règlent l'ensemble des phénomènes naturels.

Il m'a semblé intéressant de reprendre l'étude de cette théorie, en même temps que j'essayais de la compléter au point de vue physique par quelques expériences; j'y ai été surtout décidé en rencontrant dans l'excellent ouvrage du savant Moseley (*Mechanical principles of Engineering and Architecture*) une expo-

sition de la théorie analytique du choc qu'il m'a paru intéressant de faire connaître, car elle est différente dans la forme de celle adoptée en général dans les ouvrages français, et conduit directement à des observations précieuses pour la pratique, quand on l'applique aux principaux emplois du choc dans l'industrie.

I. THÉORIE DU CHOC.

2. *Choc entre molécules de masse différente.* — Considérons d'abord le phénomène du choc entre des molécules simples, entre de petites sphères géométriques extrêmement petites, il sera naturel d'admettre dans ce cas que le mouvement se propage instantanément dans ces corps, que toutes les parties sont animées d'une même vitesse à l'instant du choc, qu'il n'y a d'autres effets produits que ceux dus à l'inertie des masses. Les résultats obtenus s'appliqueront à des corps réels, dans les limites d'erreur qui résulteront de cette hypothèse.

3. *Choc de deux corps dont les centres de gravité se meuvent sur la même ligne droite, et dont le point de contact est sur cette ligne.*

Durant la période pendant laquelle le premier corps est choqué par le second, limitée par le moment où les deux corps se meuvent au moins un instant avec la même vitesse, il est évident que la pression qui se produit au point de contact, par l'effet de la résistance due à l'inertie du corps choqué, va en croissant, et que le moment où ils commencent à se mouvoir ensemble est celui de la pression maximum.

4. *Un corps dont le poids est* P_1 *et qui se meut dans une direction horizontale avec une vitesse uniforme représentée par* V_1, *est frappé par un second corps dont le poids est* P_2, *et qui se meut dans la direction de la même ligne droite avec la vitesse* V_2, *on demande de déterminer la vitesse commune au moment de la plus grande compression.*

Soit f_1 le décroissement par seconde de la vitesse de P_1 à chaque instant du choc, ou mieux la diminution par seconde qui serait produite par une pression constante $\frac{P_1}{g} f_1$, par cette

force effective agissant sur P_1 ; et f_2 représentant dans les mêmes circonstances l'accroissement de vitesse reçu par P_2, $\frac{P_2}{g} f_2$ sera la force effective agissant sur P_2. D'après le principe de d'Alembert, ces forces effectives étant considérées comme appliquées aux corps dans une direction opposée à celle dans laquelle se produisent les accélérations et retards correspondants, sont en équilibre avec les forces qui viennent à agir en même temps sur les corps. Aucune force ne leur étant par hypothèse appliquée, il y a donc égalité entre ces forces, ou

$$\frac{P_1}{g} f_1 = \frac{P_2}{g} f_2 \qquad (1)$$

Pour un petit accroissement de temps, à partir du moment considéré du choc, représenté par Δt, soient Δv_1 et Δv_2 les variations des vitesses des deux corps respectivement durant le même temps, on a :

$$f_1 \Delta t = \Delta v_1, \quad f_2 \Delta t = \Delta v_2,$$

et, d'après l'équation ci-dessus, en en multipliant les deux termes par Δt,

$$P_1 \Delta v_1 = P_2 \Delta v_2.$$

Cette égalité étant appliquée à la succession des variations de vitesse jusqu'au moment de la plus grande compression, il s'ensuit que les deux corps se mouvant dans la même direction, on a, en faisant la somme de termes semblables,

$$P_1 (V_1 - V) = P_2 (V - V_2) \qquad (2)$$

et comme $V_1 - V$ représente la vitesse perdue pendant la période entière et $V - V_2$ la vitesse gagnée par P_2, la quantité de mouvement est donc la même après et avant le choc, comme on l'établit ordinairement *à priori*.

Si les corps se meuvent dans des directions opposées, et si leur mouvement commun est dans la direction suivie par P_1 supposé posséder la plus grande quantité de mouvement, la diminution de vitesse de P_1 est représentée par $V_1 - V$; mais la somme des diminutions et accroissements de vitesse communiquée à P_2, afin que la vitesse V_2 existante soit détruite et la vitesse V communiquée dans une direction opposée est représentée par $(V_2 + V)$, et l'on a

$$P_1 (V_1 - V) = P_2 (V_2 + V) \qquad (3)$$

ou la même que la précédente en donnant à V_2 un signe contraire à celui de V_1 et V pour un mouvement de direction opposée.

Résolvant ces équations par rapport à V, on obtient l'équation générale :

$$V = \frac{P_1 V_1 \pm P_2 V_2}{P_1 + P_2} \qquad (4)$$

Les signes $\pm$ étant pris suivant que les corps, avant le choc, se meuvent dans la même direction ou dans des directions opposées.

Si le second corps était immobile avant le choc, $V_2 = 0$ et

$$V = \frac{P_1 V_1}{P_1 + P_2} \qquad (5)$$

Si les deux corps ont le même poids

$$V = \tfrac{1}{2} (V_1 \pm V_2) \qquad (6)$$

5. *Déterminer le travail dépensé pour produire l'état de plus grande compresssion au point commun de la surface des corps.*

Adoptant la notation précédente, tout le travail accumulé dans les corps, avant le choc, est représenté par $\frac{1}{2} \frac{P_1}{g} V_1^2 + \frac{1}{2} \frac{P_2}{g} V_2^2$, et le travail accumulé en eux au moment de la plus grande compression, quand ils se meuvent avec la vitesse commune V, est représenté par $\frac{1}{2} \frac{P_1 + P_2}{g} V^2$.

La différence entre les quantités totales de travail accumulées dans les corps dans ces deux états, celle qui a été dépensée à produire une action intérieure est, en représentant cette quantité par u :

$$u = \frac{1}{2} \frac{P_1}{g} V_1^2 + \frac{1}{2} \frac{P_2}{g} V_2^2 - \frac{1}{2} \frac{P_1 + P_2}{g} V^2$$

et en substituant à V sa valeur déduite de l'équation (4), et réduisant

$$u = \frac{1}{2g} \left[\frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} \right] (V_1 \mp V_2)^2 \qquad (7)$$

6. *Théorème de Carnot.* — On peut déduire des valeurs ci-dessus de u, et de l'équation (2), la relation :

$$\frac{1}{2g}\,\frac{P_1 P_2}{P_1+P_2}(V_1\mp V_2)^2=\frac{1}{2}\,\frac{P_1}{g}(V_1-V)^2+\frac{1}{2}\,\frac{P_2}{g}(\pm V_2-V)^2 \quad (8)$$

qui montre que la perte de forces vives, lors du moment du maximum de pression, que l'emmagasinement du travail dû à l'inertie dans l'hypothèse de mases élémentaires, est égal à la force vive que posséderaient les corps P_1 P_2 animés des vitesses qu'ils ont perdues ou gagnées. C'est là le théorème de Carnot, qui conduit à l'erreur si on l'applique au choc complet, si on n'analyse pas convenablement les effets des forces en jeu, si on passe de l'hypothèse toute théorique d'une molécule mathématique, en quelque sorte, à un corps réel.

Le résultat n'en est pas moins très-précieux en ce qu'il fournit les lois du choc lorsque les choses se passent comme si les corps ne réagissaient pas, lorsqu'ils cheminent nécessairement ensemble après le choc, comme une masse de bois et la balle qui le pénètre; s'ils ne forment plus qu'un système unique dont les actions intérieures ne modifient pas le mouvement du centre de gravité. C'est ce que va montrer l'étude pour des corps considérés avec toutes leurs propriétés physiques.

7. *Du choc en tenant compte de la constitution physique des corps.*

La détermination complète du mouvement d'un corps qui se meut par l'effet d'un choc, en éprouvant un changement de forme assez grand pour qu'on ne puisse se dispenser d'en tenir compte, est très-complexe; elle ne pourrait être complète qu'autant qu'on connaîtrait les lois suivant lesquelles varient les actions que les diverses parties du corps exercent les unes sur les autres, à mesure que leurs positions respectives viennent à changer. Alors la question rentrerait dans le cas général du mouvement d'un système de points matériels soumis à la fois à leurs actions mutuelles et à des forces extérieures.

Dans l'impossibilité d'attaquer le problème à la fois pour toutes les molécules d'un corps, on parvient simplement à des résultats importants pour deux cas, limites extrêmes de la

constitution des corps solides, celui où ils sont complétement dénués d'élasticité, ne réagissent pas, et celui où leur élasticité est parfaite.

8. *Corps qui ne réagissent pas, sont complétement dénués d'élasticité.*

Lorsque des corps sont tels qu'après le choc ils se meuvent simultanément, nécessairement par suite avec les vitesses indiquées ci-dessus, il faut que le travail perdu ait été consommé à désagréger les corps, à déterminer des mouvements orbitaires (dans le cas des fluides), actions intérieures différentes de celles considérées dans l'étude du déplacement de la masse totale du corps et qui par suite, complétement négligées, répondent à une perte apparente de travail.

La valeur de u indiquée plus haut donne alors la mesure de ce travail perdu.

Si P_2 est très-grand par rapport à P_1, elle se réduit à très-peu près à

$$u = \frac{P_1}{2g}(V_1 \mp V_2)^2 \qquad (9)$$

Si dans ces mêmes conditions $V_2 = 0$, ce qui est le cas de nombre d'applications de la pratique

$$u = \frac{P_1}{2g}V_1^2 \qquad (10)$$

c'est-à-dire que tout le travail moteur est consommé à déformer le corps choqué, comme on le voit dans le forgeage du fer rougi au feu.

Nous reviendrons plus spécialement, à la fin de ce travail, sur l'étude de ces phénomènes de déformation.

9. *Corps parfaitement élastiques. Déterminer les vitesses après le choc.*

Si les deux corps sont d'une élasticité parfaite (pour les forces en jeu, nous verrons plus loin comment cette limite varie avec la nature de chaque corps), il est évident qu'après que la période de plus grande compression est passée, ceux-ci, par l'expansion de leurs surfaces, exercent des pressions mutuelles l'un sur l'autre, qui sont pour des positions correspondantes des surfaces.

précisément celles qui ont été supportées pendant la compression; d'où il suit que les diminutions de vitesse du corps dont le mouvement est retardé par l'expansion des surfaces, et les accroissements acquis par celui dont la vitesse est augmentée, doivent être égaux à ceux antérieurement reçus en passant par les positions relatives correspondantes, et par suite tous les accroissements et diminutions reçus pendant l'expansion sont les mêmes que ceux produits pendant la compression. Tout se passe comme si un ressort parfait était interposé entre les deux corps théoriques. La vitesse, perdue par P_1 pendant la compression, est représentée par (V_1-V); celle, perdue par l'effet de l'expansion depuis le maximum de compression jusqu'à ce que les corps se séparent l'un de l'autre, est donc représentée par la même quantité. Mais, au moment du maximum de compression, les deux corps ont la vitesse V; la vitesse v_1 de P_1, au moment de la séparation, est donc $V-(V_1-V)=2V-V_1$. De même la vitesse, gagnée par P_2 pendant la compression et par suite pendant l'expansion, peut être représentée par $(V\mp V_2)$, et la vitesse lors du maximum de compression étant V, la vitesse v_2, au moment de la séparation, est représentée par $V+(V\mp V_2)$ ou $2V\mp V_2$, le signe $\mp$ étant pris selon que le mouvement des corps avant le choc a lieu dans le même sens ou dans des sens opposés.

Substituant dans ces expressions des vitesses des deux corps au moment où ils vont se séparer la valeur de V (4), et réduisant, on a :

$$v_1=\frac{(P_1-P_2)V_1\pm 2P_2V_2}{P_1+P_2} \qquad (11)$$

$$v_2=\frac{\mp(P_1-P_2)V_2+2P_1V_1}{P_1+P_2} \qquad (12)$$

Si les deux corps sont égaux en poids, d'après ces équations $v_1=V_2$, $v_2=V_1$, il y a donc dans ce cas échange des vitesses par le choc; et si l'un est en repos avant le choc, c'est l'autre qui reste immobile après le choc. L'expérience des billes d'ivoire, qui se fait avec l'appareil bien connu qui se trouve dans tous les cabinets de physique, vérifie bien la théorie ci-dessus. D'après celle-ci le choc de la première bille sur la seconde ferait passer dans celle-ci toute la vitesse de la première. Dès lors, la seconde bille, que ce premier choc fait passer brusquement de l'état de repos à

l'état de mouvement, va choquer la troisième et lui transmettre la totalité de sa vitesse. A la suite de ce second choc, la seconde bille se retrouvera donc en repos; elle n'aura été en mouvement que pendant l'intervalle de temps excessivement court qui sépare le premier choc du second. On verrait de même que la vitesse passera de la troisième bille à la quatrième, et ainsi de suite jusqu'à la dernière qui, ne rencontrant pas d'obstacle à son mouvement, se mouvra en tournant autour de son point de suspension. C'est en effet ce qu'on observe : en laissant tomber la première bille d'une certaine hauteur, on la voit s'arrêter dès que le choc a eu lieu, et aussitôt la dernière part pour s'élever à la hauteur dont on avait laissé tomber la première.

Si P_2 est très-grand par rapport à P_1, $v_1 = -V_1 \pm 2V_2$, $v_2 = \pm V_2$. Dans ce cas, v_1 est négatif, et le mouvement du plus petit corps change de direction après le choc, quand les mouvements avant le choc sont de direction opposée et aussi quand ils sont de même direction, pourvu que $2V_2$ ne soit pas plus grand que V_1. Si $V_2 = 0$, $v_1 = -V_1$, c'est-à-dire qu'un corps parfaitement élastique, tombant sur une masse inébranlable, revient après le choc à son point de départ, sans aucune perte de forces vives. Il en est de même dans tous les cas d'élasticité parfaite, ainsi qu'on le voit en faisant la somme des forces vives après le choc, c'est-à-dire que l'on a :

$$\frac{1}{2}\frac{P_1}{g}v_1^2 + \frac{1}{2}\frac{P_2}{g}v_2^2 = \frac{1}{2}\frac{P_1}{g}V_1^2 + \frac{1}{2}\frac{P_2}{g}V_2^2$$

ce qui se vérifie en introduisant dans cette équation les valeurs ci-dessus de v_1 et v_2 (11) et (12) et réduisant.

10. L'examen des deux cas extrêmes qui indique que la perte de forces vives résulte du défaut d'élasticité, fait bien comprendre comment les phénomènes se produisent. La perte de forces vives, dit avec une parfaite netteté M. Delaunay (*Traité de mécanique rationnelle*), dans le choc de deux corps supposés dépourvus d'élasticité, est une conséquence nécessaire du travail négatif développé par les forces moléculaires de ces deux corps, pendant qu'ils se déforment par l'effet du choc. Lorsque les deux corps sont parfaitement élastiques, les forces moléculaires développent un travail positif pendant tout le temps que ces corps emploient à revenir de leur plus grande déforma-

tion à leur forme primitive; d'ailleurs, d'après la nature des corps parfaitement élastiques, la somme des travaux positifs, produits pendant la seconde partie du choc, doit avoir la même valeur absolue que la somme des travaux négatifs correspondant à la première partie : donc la force vive du système doit s'accroître pendant cette seconde partie du choc de toute la quantité dont elle avait diminué d'abord, et par conséquent à la fin du choc elle doit avoir précisément la même valeur qu'au commencement.

Tous les solides naturels étant compris entre les deux limites d'une élasticité parfaite et d'un défaut complet d'élasticité, il s'ensuit que le choc de ces solides doit présenter des circonstances intermédiaires entre celles qui se rapportent à ces deux limites. Ainsi, on peut dire que dans le choc direct de deux corps sphériques et homogènes, il y a toujours une perte de force vive, due à ce que le travail positif, développé par les forces moléculaires pendant la seconde partie du choc, est inférieur à la valeur absolue du travail négatif que ces forces moléculaires développent pendant la première partie. Cette perte de force vive est plus ou moins petite, suivant que les deux solides se rapprochent plus ou moins de remplir les conditions de l'élasticité parfaite.

La différence entre les valeurs absolues des sommes de travaux dus aux forces moléculaires pendant les deux parties du choc tient à deux causes que nous devons indiquer : 1° les molécules des deux corps, écartées de leurs positions primitives pendant la première partie du choc, peuvent ne pas reprendre complétement ces positions lorsque le choc est terminé, en sorte que ces corps conservent une portion de la déformation totale que le choc leur avait fait éprouver; 2° les molécules peuvent n'être pas revenues complétement à leurs positions définitives, à l'instant où les deux corps se séparent, de sorte que ces molécules, en continuant à se mouvoir après cette séparation, en vertu de la vitesse qu'elles possèdent encore, prennent un mouvement vibratoire qui se transmet à toutes les molécules voisines, sans avoir aucune influence sur le mouvement d'ensemble de chacun des deux solides dans l'espace, sans réagir complétement par suite de la communication de ces vibrations. (C'est ce qu'on voit dans les pianos où le marteau qui frappe les cordes

est rapidement relevé pour permettre la libre production des vibrations.) La différence entre la force vive du système avant le choc et la force vive du même système après le choc (cette dernière force vive étant évaluée, indépendamment du travail consommé par la déformation des corps et le mouvement vibratoire des molécules des deux solides, comme de celui consommé autrement, comme je le montrerai plus loin) peut donc être regardée comme une perte de force vive qui est due à la fois aux déplacements moléculaires persistants et aux vibrations occasionnées par le choc. Une portion de cette différence des forces vives du système, prises avant et après le choc, est bien absorbée par le travail résistant qui correspond aux déplacements persistants des molécules. L'autre portion, au contraire, n'est pas réellement perdue par l'effet du choc, puisqu'elle se retrouve dans le mouvement vibratoire des molécules, mouvement dont nous ne tenons pas compte en évaluant la force vive finale du système; mais, au point de vue de l'application de la mécanique aux machines, on peut regarder cette seconde portion comme tout aussi bien perdue que la première. Donc, toutes les fois qu'il se produit un choc entre deux solides naturels, ce choc est accompagné de perte de force vive plus ou moins grande.

11. On peut essayer de tenir compte de l'imparfaite élasticité des deux solides par la méthode suivante. Puisque l'élasticité est imparfaite, la force avec laquelle les corps tendent à se séparer, pour tout point donné de l'expansion, est différente de celle du point de compression correspondant; les accroissements et décroissements de vitesse produits pour des points correspondants de compression et d'expansion sont donc différents; d'où il suit que les vitesses totales perdues ou gagnées sont différentes. Soit le rapport de l'une à l'autre de ces forces celui de 1 à e. La vitesse perdue pendant la compression par P_1 est dans tous les cas représentée par $(V_1 - V)$; celle, perdue pendant l'expansion, est donc représentée dans le cas actuel par $e\,(V_1 - V)$; par suite, $v_1 = V - e(V_1 - V) = (1+e)\,V - eV_1$. De même, la vitesse gagnée par P_2 durant la compression étant dans tous les cas représentée par $(V \mp V_2)$, celle gagnée pendant l'expansion est $e(V \mp V_2)$; par suite $v_2 = V + e(V \mp V_2) = (1+e)V \mp eV_2$. Introdui-

sant dans ces expressions la valeur de V (4) et réduisant, il vient :

$$v_1 = \frac{(P_1 - e P_2) V_1 \pm (1 + e) P_2 V_2}{P_1 + P_2} \qquad (13)$$

$$v_2 = \frac{\pm (P_2 - e P_1) V_2 + (1 + e) P_1 V_1}{P_1 + P_2} \qquad (14)$$

La quantité e varie avec la grandeur des forces en jeu, la déformation qu'elles peuvent produire, et aussi avec la forme des corps, suivant qu'elle permet ou ne permet pas la propagation des vibrations.

12. *Dans le choc entre deux corps imparfaitement élastiques, déterminer le travail ou la demi-force vive perdue par l'un et gagnée par l'autre.*

La force vive perdue par P_1 pendant le choc est évidemment représentée par

$$\frac{P_1}{g} V_1^2 - \frac{P_1}{g} v_1^2 = \frac{P_1}{g} (V_1^2 - v_1^2) =$$

$$\frac{P_1}{g} \left\{ V_1^2 - \{(1+e)V - eV_1\}^2 = \frac{P_1}{g} (1-e^2) V_1^2 + 2e(1+e)VV_1 - (1+e)^2 V^2 \right.$$

$$\left. = \frac{P_1}{g} (1+e)(V_1 - V) \{V_1 (1-e) + V (1+e)\} \right\}$$

Substituant dans cette expression la valeur de V (4), réduisant et représentant par u_1 la moitié de la force vive perdue par P_1 dans le choc, on a pour la valeur de u_1

$$\frac{(1+e) P_1 P_2 (P_1 \mp P_2)}{2g (P_1 + P_2)^2} \left\{ 2P_1 V_1 + (1-e) P_2 V_1 \pm (1+e) P_2 V_2 \right\} \qquad (15)$$

De même u_2, représentant la moitié de la force vive gagnée par P_2 lors du choc, a pour valeur :

$$\frac{(1+e) P_1 P_2 (V_1 \mp V_2)}{2g (P_1 + P_2)^2} \left\{ 2P_2 V_2 + (1-e) P_1 V_2 \pm (1+e) P_1 V_1 \right\} \qquad (16)$$

13. Si on représente par u le travail perdu pendant le choc, celui-ci est évidemment égal à la quantité perdue par l'un des

corps, moins celle gagnée par l'autre, ou $u = u_1 - u_2$. Substituant les valeurs précédentes et réduisant, on a :

$$u = \frac{(1 - e^2) P_1 P_2 (V_1 \mp V_2)^2}{2g (P_1 + P_2)} \qquad (17)$$

Si les corps sont parfaitement élastiques (pour le choc considéré), $e = 1$ et $u = o$. Dans ce cas, il n'y a pas perte de force vive pendant le choc, celle dépensée par l'un des corps est gagnée par l'autre.

14. Dans ce qui précède, on suppose que les mouvements du corps choquant et du corps choqué ne rencontrent pas de résistances pendant la durée du choc. Il n'en est pas ainsi dans la pratique. Toutefois, en général, la résistance opposée au mouvement de chaque corps est petite, comparée à la pression exercée entre eux dans toute période du choc. Il s'ensuit que le mouvement de chaque corps jusqu'à l'instant où il cesse, est sensiblement le même que si aucune résistance ne s'opposait à leur mouvement[1].

1 Représentons par F_1 et F_2 les résistances rencontrées par les corps choquants, dont les poids sont P_1 et P_2, $\frac{P_1}{g} f_1$ et $\frac{P_2}{g} f_2$ étant les forces effectives agissant sur les deux corps à toute période du choc ; d'après le principe de d'Alembert on aura :

$$\frac{P_1}{g} f_1 - F_1 - \frac{P_2}{g} f_2 - F_2 = 0.$$

Représentant par t la durée du choc jusqu'au moment de la plus grande compression, par V la vitesse commune à cette période, et par v_1 et v_2 leurs vitesses à toute période du choc ; en substituant à f_1 et f_2 leurs valeurs, on a :

$$\frac{P_1}{g} \frac{dv_1}{dt} - F_1 - \frac{P_2}{g} \frac{dv_2}{dt} - F_2 = 0.$$

Transposant et intégrant entre les limites 0 et t

$$\frac{P_1}{g} (V_1 - V) = \frac{P_2}{g} (V - V_1) + \int_0^{t} (F_1 + F_2)\, dt.$$

Or, si F_1 et F_2 ne sont pas excessivement grands, l'intégrale du second membre est extrêmement petite, comparée avec les autres termes, et peut être négligée, t étant très-petit ; l'équation ci-dessus devient identique avec l'équation (2).

15. Comme application du principe établi dans ce dernier article, cherchons à déterminer l'espace parcouru par un clou qui reçoit un coup de marteau, et supposons que la résistance qui s'oppose au mouvement du clou soit en partie la résistance constante rencontrée en ce point, en partie la résistance opposée par le frottement de la masse dans laquelle il est serré, variant directement avec sa longueur x. Cette résistance étant alors représentée par $\alpha + \beta x$, le travail consommé pour l'enfoncer d'une longueur D sera donné par une quadrature ou :

$$\int_0^D (\alpha + \beta x)\, dx, \text{ ou enfin } \alpha D + \tfrac{1}{2}\beta D^2.$$

Si P_2 représente le poids du clou et V la vitesse que le marteau, dont le poids est P_1, doit prendre pour l'enfoncer de la longueur D, enfin, si l'on suppose les surfaces du clou et du marteau dénuées d'élasticité, le travail accumulé dans le marteau avant le choc est $\frac{1}{2}\frac{P_1}{g}V^2$, et le travail perdu pendant le choc, par la compression des surfaces de contact, peut être représenté (7) par $\frac{1}{2g}\left(\frac{W_1 W_2}{W_1 + W_2}\right) V_1^2$. Le reste du travail, qui effectue l'enfoncement du clou, est la différence de ces deux quantités, ou :

$$\frac{1}{2g} P_1 V^2 - \frac{1}{2g}\left(\frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2}\right) V^2 = \alpha D + \tfrac{1}{2}\beta D^2$$

ou

$$\frac{1}{g}\frac{V^2 P_1^2}{P_1 + P_2} = 2\alpha D + \beta D^2 \text{ ou } = \frac{1}{g} P_1 V^2 \qquad (18)$$

en négligeant P_2 vis-à-vis de P_1 comme on peut le faire, en général, dans la pratique. La résolution de cette équation du second degré donnera la valeur de D. On suppose ici que la masse dans laquelle on enfonce le clou est résistante, ne participe pas au mouvement du clou ; les deux masses réunies cesseraient autrement d'être négligeables vis-à-vis de P_1. On sait qu'on a soin, quand l'enfoncement doit avoir lieu dans un corps élastique, d'appliquer une masse en arrière du point où l'on veut produire l'enfoncement pour obtenir plus d'effet utile.

16. *De la durée des chocs.*

Nous avons fait entrer plus haut dans le calcul la durée t du

choc, du temps pendant lequel les deux corps peuvent réagir l'un sur l'autre, et nous avons admis qu'elle est très-petite. Il en est tellement ainsi dans la plupart des cas, que plusieurs auteurs se sont crus autorisés à la regarder comme entièrement nulle; ce qui les conduit à supposer infinies les forces de réaction qui se développent pendant la compression réciproque des corps, et qui, n'agissant que pendant un court instant, produisent des variations finies de vitesse. Mais, dit M. Poncelet (Introduction à la *Mécanique industrielle*), puisqu'il n'y a pas de corps infiniment durs, on ne peut pas dire non plus, en termes absolus, qu'il y ait changement brusque ou *instantané* de leur vitesse; la communication du mouvement par le choc ne diffère en réalité de celle qui a lieu par les forces motrices ordinaires, telles que la pesanteur, etc., que parce que cette communication s'opère généralement en un temps très-court, et que la force de réaction acquiert une très-grande valeur.

M. Morin, cherchant à vérifier par l'expérience les formules du choc des corps, a pu mesurer directement la durée du choc. Ce résultat précieux a été obtenu à l'aide d'une disposition dont nous empruntons la description au premier volume de ses *Leçons de mécanique pratique :*

« Une caisse en bois, dans laquelle on a placé successivement de la terre glaise plus ou moins molle, des pièces de bois, etc, était suspendue à un dynanomètre à style et à plateau tournant. Le plateau était animé d'un mouvement uniforme qui lui était transmis par un poids, et régularisé par un volant à ailettes. Lorsque la caisse était immobile, la résistance du dynamomètre faisait équilibre à son poids, et la courbe des flexions tracée par le style sur le plateau était un cercle.

« Le corps choquant était un boulet suspendu à une espèce de tenaille qui s'ouvrait à volonté, et lorsqu'il atteignait les matières placées dans la caisse, il en résultait des compressions à la suite desquelles les deux corps marchaient ensemble d'une vitesse commune. Les amplitudes de ce mouvement étaient mesurées et indiquées par les flexions des ressorts, et il en résultait sur le plateau une courbe dont les distances à l'axe ou les rayons vecteurs allaient en croissant pendant toute la période de la compression où le mouvement s'accélérait, d'où résultait que la courbe était d'abord convexe vers le cercle du repos. Puis, à

artir de l'instant où la compression avait atteint son maximum, les corps étant mous ou à peu près (cheminant ensemble), il en résultait que, la caisse cessant d'être sollicitée par un effort croissant, la réaction du ressort commençait à ralentir son mouvement de descente, l'arrêtait, le relevait ensuite au-dessus de sa position initiale, et lui faisait alors continuer une suite d'oscillations verticales qui ne s'éteignaient que par l'effet des résistances passives de l'appareil. »

Ces expériences permettaient de mesurer la durée du choc. On a ainsi trouvé approximativement 0″,012 à 0″,07 pour un boulet tombant dans de la terre glaise de résistance différente à la pénétration, et 0″,007 à 0,008 pour le choc de ce même boulet tombant sur du bois, le poids de ce boulet variant de 12 à 20 kilog.

Cette durée est d'autant moindre que le corps choqué est plus roide; ce que M. Poncelet avait déjà établi en cherchant à analyser les effets du choc des corps. Nous donnerons une idée de la méthode adoptée par l'illustre savant en lui empruntant ce qui suit.

17. *Calcul de la durée de l'enfoncement produit par le choc d'un corps qui tombe d'une certaine hauteur sur une substance plus ou moins molle.*

Supposons que le corps P soit un cube de fer pesant 300 kilog., et qu'il s'enfonce de $0^m,02$ pendant le temps cherché, en tombant d'une hauteur de $1^m,30$. Supposons enfin que la résistance soit uniforme, elle retardera uniformément le mouvement du cube[1].

Le travail de la résistance pendant la durée du choc est égal à $300 \times (1,30 + 0,02) = 396$ kilogrammètres, donc elle a pour valeur moyenne $\frac{396}{0,02} = 19800$ kil., poids qui produirait à peu près le même effet. Cette résistance étant directement opposée à l'action du poids de 300 kil. du cube, ce dernier sera en

1. Cette hypothèse est conforme aux résultats des expériences de M. Morin, qui a trouvé exacte, pour les petites vitesses, la loi de G. Juan, que la consommation des forces vives était proportionnelle aux volumes des pénétrations. C'est la force vive qui va en diminuant à mesure qu'elle est consommée et non la résistance qui augmente, comme pourrait le faire croire la loi retardée du mouvement.

réalité sollicité, pendant l'enfoncement, par une force motrice constamment égale à $19800^k - 300^k = 19500^k$, et agissant de *bas en haut*, pour retarder son mouvement primitivement acquis ou pour détruire la vitesse de $5^m,05$, due à sa chute, qu'il possédait.

Avec ces données, il est facile de trouver le temps que la résistance mettrait à éteindre la vitesse en question, puisque la force constante serait $F = M\frac{v}{t}$, d'où

$$t = \frac{M \times 5,05}{F} = \frac{30,58 \times 5,05}{19500} = 0'',008.$$

Si la substance était plus résistante, la durée du choc serait moindre. En effet, supposons que dans les conditions précédentes, l'accroissement de la résistance réduise l'enfoncement à 0,001 ; on trouverait, en raisonnant comme ci-dessus, que le poids R, susceptible de produire le même enfoncement que le choc, serait de $\frac{390,3}{0,001} = 390300$ kil., et la durée de l'enfoncement $0'',00039$.

18. *Utilité du choc.*

Le mode de raisonner employé ci-dessus fait bien concevoir comment il est possible de comparer les effets des chocs, sur les corps, à celui des pressions ordinaires; comment il peut remplacer des pressions très-considérables, et que, par suite, toutes les fois que la pression ou l'effort direct, dont on pourra disposer pour produire un travail mécanique, sera au-dessous de la résistance à vaincre, il faudra recourir au choc qui développe des pressions considérables.

Nous allons passer en revue les organes les plus employés dans l'industrie pour utiliser les ressources que fournit le choc. Auparavant nous ferons remarquer que la division des corps en corps qui ne réagissent pas et en corps élastiques ne se rapporte pas seulement à la nature des corps, qu'on ne saurait ranger d'une manière absolue dans la première classe les corps mous comme l'argile, la cire, etc., et dans la seconde les corps dont l'élasticité est bien connue, comme le bois, les métaux. Il faut, pour ces derniers, tenir compte si l'effet produit par le choc n'est

pas supérieur à la limite d'élasticité, auquel cas ces corps subissent des déformations permanentes, des ruptures qui empêchent le mouvement d'être transmis aux molécules voisines. C'est ainsi qu'une balle de plomb, lancée légèrement contre un carreau de fenêtre, est renvoyée par le carreau sans qu'il y ait rupture. Si on la lance plus fortement avec la main, elle traversera le carreau, en déterminant un grand nombre de fentes qui rayonneront autour du trou par lequel elle aura passé. Mais si la balle est lancée par une arme à feu, elle ne fera dans le carreau qu'un trou rond par lequel elle passera ; le reste du carreau restera intact. Il n'aura nullement réagi, et se sera comporté, à cette vitesse, comme un corps donné d'élasticité.

II. DU COIN MU PAR CHOC.

19. On peut en général, dit M. Poncelet, nommer *coin* tout corps solide posé entre deux ou plusieurs autres, et sollicité par des forces quelconques, qui sont mises en équilibre par les forces de réaction que le corps éprouve de la part de ceux-ci, normalement à sa surface de contact. Remplaçant, en effet, cette surface par le plan tangeant correspondant, ce plan et tous ses semblables formeront, par leur rencontre mutuelle, un angle solide ou espèce de coin, qu'on pourra substituer à la considération du premier corps, et qui se trouvera placé absolument dans les mêmes circonstances quant aux effets physiques.

On voit, par cette généralisation, quelle place importante tient la théorie du coin dans la mécanique physique, combien les simplifications et perfectionnements qu'on peut y apporter ont d'intérêt. C'est ce que nous paraît avoir réussi à faire M. Moseley, en y introduisant, comme il suit, la considération des effets du choc, qui, dans la pratique, est le moyen presque toujours employé pour effectuer un travail industriel.

20. *Coin poussé par pression.*

Soit ACB un coin isocèle (fig. 1) dont l'angle au sommet est 2ι, et qui s'enfonce en écartant les deux surfaces DE, DF par l'effet de la pression P ; soient R_1 et R_2 les résistances que ces surfaces opposent aux faces CA, CB quand le coin est sur le point de se mouvoir en avant et que le frottement intervient. Les directions

de ces résistances seront inclinées sur les normales s et t des faces CA, CB du coin, et feront avec celle-ci des angles égaux à l'angle de résistance ou de frottement φ.

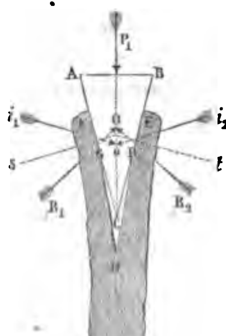


Fig. 1.

La pression normale ρ engendre le frottement $\rho f = \text{tang.}\ \varphi = \rho \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}$, et la force effective est une résistance oblique $R_1 = \frac{\rho}{\cos \varphi}$ pour l'état d'équilibre dynamique. Comme d'ailleurs nous étudions le cas d'un coin isocèle, on a donc : $R_1 = R_2$, et Q_1 (égal à la résultante des deux réactions), $Q_1 = 2R_1 \cos \frac{1}{2}$ GOR. D'ailleurs, dans le quadrilatère CGOR, la somme des angles étant égale à 4 droites,

$$\text{GOR} = 2\pi - \text{GCR} - \text{OGC} - \text{ORC}.$$

Or, $\text{GCR} = 2i,\ \text{OGC} = \text{ORC} = \frac{\pi}{2} + \varphi,$

donc $\text{GOR} = 2\pi - 2i - \pi - 2\varphi$

$$= \pi - (2i + 2\varphi),\ \text{et}\ \tfrac{1}{2}\,\text{GOR} = \frac{\pi}{2} - (\iota + \varphi),\ \text{et}\ Q_1 = 2R_1 \sin(\iota + \varphi). \quad (19)$$

Le rapport de cette quantité à celle nécessaire pour parcourir un même chemin s'il n'y avait pas de frottement, le *module* suivant la définition de Moseley est :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\sin(\iota + \varphi)}{\sin \iota} \quad (20)$$

relation que l'on peut mettre sous la forme :

$$U_1 = U_2\,(\text{cot.}\ \varphi + \text{cot.}\ \iota)\ \sin.\ \varphi.$$

Le travail perdu par le frottement est très-grand, si l'angle du coin est très-petit; il devient infini pour une valeur finie de φ et une valeur infiniment petite de ι.

21. *De l'angle du coin.*

Supposons que la pression Q_1, au lieu d'être suffisante pour entraîner le coin, soit seulement suffisante pour le maintenir en place après un mouvement de progression. Au moment où le

mouvement en arrière pourrait se produire, l'action du frottement changeant de sens, on a :

$$Q_1 = 2R_1 (\sin. \iota - \varphi). \qquad (21)$$

Toutes les fois que ι sera plus grand que φ, ou l'angle C du coin plus grand que deux fois l'angle de résistance, Q_1 est positif; d'où il suit qu'une certaine pression agissant dans le sens du mouvement du coin, et dont la valeur est indiquée par cette expression, est nécessaire pour maintenir le coin dans la position où il a été amené. Dans ce cas, la pression étant supprimée ou moindre que la valeur ci-dessus, le coin remonte et peut être lancé en l'air.

Si ι est plus petit que φ, ou l'angle C du coin plus petit que deux fois l'angle de résistance, Q_1 reste négatif; dans ce cas, une pression en sens inverse du mouvement qui a entraîné le coin est nécessaire pour le ramener du point où il a été amené. D'où suit qu'il reste en repos, même si une certaine force lui est appliquée, pourvu qu'elle n'excède pas celle donnée par la formule. — Enfin $i = \varphi$ correspond à un état d'instabilité.

La propriété du coin, de rester ainsi en place après que la force qui l'a enfoncé n'agit plus, caractérise le coin, et le rend supérieur à tout autre outil mû par un choc pour une foule d'applications.

Il est évident que ce principe ne peut être appliqué que pour des matières convenables du coin et de la matière à travailler.

22. *Coin poussé par choc.*

Le coin est habituellement poussé par un corps pesant qui vient, avec plus ou moins de vitesse, choquer sa partie postérieure dans la direction de son axe. P étant le poids de ce corps et V sa vitesse, le travail accumulé dans ce corps est $\frac{1}{2} \frac{P}{g} V^2$. Ce travail agissant sur le coin, et, par celui-ci, sur les résistances qui s'opposent à son mouvement, les deux corps étant supposés marcher et s'arrêter ensemble après le choc, et l'influence de l'élasticité du corps choquant et du coin étant négligée, sera, s'il ne se produit pas de déformation permanente des surfaces au contact,

$$U_1 = \frac{1}{2} \frac{P V^2}{g}$$

Substituant cette valeur de U_1 dans l'équation 20, et résolvant par rapport à U_2, on a :

$$U_2 = \tfrac{1}{2}\frac{P\,V^2}{g}\,\frac{\sin\iota}{\sin(\iota+\varphi)} \qquad (22)$$

équation qui détermine U_2, c'est-à-dire le travail consommé par les résistances qui s'opposent au mouvement du coin qui a reçu le choc du corps P animé de la vitesse V.

23. L'influence de l'élasticité, dont il n'est pas tenu compte ci-dessus, peut, en partie au moins, être appréciée. La surface du corps choquant et celle de la tête du coin étant en général extrêmement dures, comparativement à celle des surfaces que le coin doit pénétrer, leur pression mutuelle doit être très-grande, comparativement à la résistance opposée à l'action du coin. Cette dernière étant négligée comparativement à la première, le travail reçu ou gagné par l'effet du choc du marteau, la vitesse V_2 du coin étant nulle à l'origine, peut être représenté (16) par $\frac{(1+e)^2 P_1^2 P_2 V^2}{2g(P_1+P_2)^2}$, où P_1 représente le poids du marteau, P_2 le poids du coin et e la mesure de l'élasticité, celle absolue étant représentée par 1. Égalant cette expression avec la valeur de U_1 (20), et négligeant les effets d'élasticité et de compression des surfaces G et R, entre lesquelles le coin avance, on a approximativement :

$$U_2 = \frac{(1+e)^2 P_1^2 P_2 V^2}{2g(P_1+P_2)^2}\,\frac{\sin\iota}{\sin(\iota+\varphi)} \qquad (23)$$

Il résulte de cette expression que pour une même valeur de P_2 le travail utile est d'autant plus grand que P_1 est plus grand par rapport à P_2, comme on le voit en divisant les deux termes par P_1^2, et que la valeur de e approche le plus possible de l'unité.

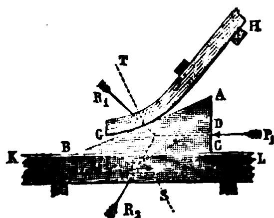


Fig. 2.

24. Si, au lieu d'être isocèle, le coin a un angle droit, comme sur la fig. 2, le rapport entre le travail moteur appliqué sur sa tête à celui produit sur les résistances appliquées à ses deux faces est, dans le cas où, KL étant fixe, la pression s'exerce suivant GH,

$U_1 = U_2 \frac{\sin. (\iota + \varphi_1 + \varphi_2)}{\sin. \iota \cos. \varphi}$, et dans celui où c'est KL qui presse, et GH qui reste fixe,

$$U_1 = U_2 \frac{\sin (\iota + \varphi_1 + \varphi_2)}{\cos (\iota + \varphi) \text{ tang. } \iota} \qquad (24)$$

(On le voit en posant pour l'état d'équilibre $\frac{Q_1}{R_1} = \frac{\sin. R_1 O R_2}{\sin. D O R_2}$ et $\frac{Q_1}{R_2} = \frac{\sin. R_1 O R_2}{\sin. D O R_1}$ et évaluant les angles en fonction de ceux ι du coin, φ_1, φ_2 du frottement des surfaces de contact.)

24. Le coin étant mis en mouvement par un choc, si on substitue pour U_1 sa valeur $\frac{1}{2} \frac{P}{g} V^2$, et qu'on résolve par rapport à U_2, on a, dans le cas où la surface AB de coin est la surface conduisante,

$$U_2 = \frac{1}{2} \frac{P V^2}{g} \frac{\sin \iota \cos \varphi_2}{\sin (\iota + \varphi_1 + \varphi_2)} \qquad (25)$$

et si c'est la base BC qui conduit,

$$U_2 = \frac{1}{2} \frac{P V^2}{g} \frac{\text{tang } \iota \cos (\iota + \varphi_1)}{\sin (\iota + \varphi_1 + \varphi_2)}. \qquad (26)$$

25. Si l'action du coin est appliquée par l'intermédiaire d'un plan incliné pouvant se mouvoir à angle droit avec la direction du choc (comme dans les presses à coin des huileries) (fig. 3), en substituant pour U_1 dans l'équation (29 ci-après) la moitié de la force vive du corps qui produit le choc, et résolvant par rapport à U_2, il vient :

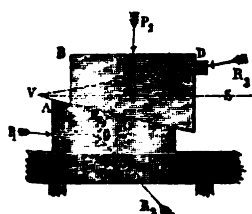


Fig. 3.

$$U_2 = \frac{1}{2} \frac{P V^2}{g} \frac{\cos (\iota + \varphi_1 + \varphi_3) \text{ tang } \iota \cos \varphi_2}{\sin (\iota + \varphi_1 + \varphi_2) \cos \varphi_3} \qquad (27)$$

L'équation dont nous venons de nous servir se déduit des précédentes. En effet, R_1 étant la pression du plan incliné inférieur sur la surface commune du plan supérieur, et R_3 la résistance de l'obstacle D qui détermine le

mouvement vertical, la relation entre la pression motrice Q_1 et la résistance R_1 sera comme ci-dessus :

$$Q_1 = R_1 \frac{\sin(\iota + \varphi_1 + \varphi_2)}{\cos \varphi_2}.$$

Puis, comme R_1, R_3, Q_2 sont les pressions qui produisent l'équilibre (φ_3 étant l'angle de frottement contre l'obstacle D).

$$\frac{R_1}{Q_2} = \frac{\sin P_2 Q R_3}{\sin R_1 Q R_3} = \frac{\cos \varphi_3}{\cos(\iota + \varphi_3 + \varphi_1)}$$

Multipliant ces équations l'une par l'autre,

$$Q_1 = Q_2 \frac{\sin(\iota + \varphi_1 + \varphi_2) \cos \varphi_3}{\cos(\iota + \varphi_1 + \varphi_3) \cos \varphi_2} \qquad (28)$$

$$U_1 = U_2 \frac{\sin(\iota + \varphi_1 + \varphi_2) \cos \varphi_3}{\cos(\iota + \varphi_1 + \varphi_3) \operatorname{tang} \iota \cos \varphi_2} \qquad (29)$$

26. *Pression moyenne du choc.*

Il résulte des équations 22, 24, 26 que, quel que soit le poids du corps et la vitesse du choc, une certaine quantité du travail U_2 est consommée par les résistances opposées au mouvement du coin. Elles peuvent se représenter par une résistance moyenne R le long d'un espace S, ainsi qu'il a été dit plus haut,

et on peut poser : $RS = U_2$, ou $R = \frac{U_2}{S}$.

Si le chemin S est extrêmement petit par rapport à U_2, une grande résistance R peut être surmontée le long d'un très-petit chemin, malgré la médiocrité du choc.

De là résulte la possibilité de surmonter par un coup de marteau d'énormes résistances. Cette propriété n'est pas particulière au coin, au ciseau qui le porte, elle appartient au choc, comme il a déjà été dit; mais cet effet est rendu permanent dans cet outil par sa propriété de demeurer immobile entre deux surfaces résistantes entre lesquelles il a été poussé, ce qui empêche les surfaces de reprendre leur première position par suite de l'élasticité du corps. C'est ce qui rend son emploi si précieux dans l'industrie où il fait la partie essentielle de tous les outils tranchants.

III. CHOC ENTRE CORPS DE FORME PRISMATIQUE.

MARTEAUX-PILONS, SONNETTES, ETC.

27. *Deux prismes solides ont un axe commun; l'extrémité de l'un d'eux repose sur une surface fixe, et son autre extrémité opposée reçoi le choc horizontalement de l'autre prisme : on demande de déterminer la compression de chaque prisme, les limites de parfaite élasticite n'étant pas dépassées dans le choc.*

Soit P le poids du prisme choquant et V sa vitesse avant le choc; L_1 et L_2 les longueurs des prismes avant la compression; E_1 et E_2 leurs coefficients d'élasticité, A_1 et A_2 leurs sections, l_1 et l_2 les plus grandes compressions produites dans chacun d'eux par le choc; le travail qui produit les compressions peut être déterminé ainsi qu'il suit :

E étant le coefficient d'élasticité d'un corps de longueur L et de section K, on sait que l'on a pour l'action d'un poids Π produisant un allongement l, la relation : $A\,E\,\frac{l}{L} = \Pi$ (30)

ou posant $l = x$, $\frac{A\,E}{L}\,x = \Pi$.

Cette résistance étant surmontée le long du chemin $d\,x$, le travail élémentaire qui sera consommé sera :

$$\Pi\,dx \quad \text{et} \quad \int \Pi\,dx = \frac{AE}{L}\int_0^l x\,d\,x = \frac{A\,E}{2\,L}\,l^2. \qquad (31)$$

On a donc les expressions suivantes des deux quantités de travail consommées par les compressions :

$$\tfrac{1}{2}\,\frac{A_1E_1l_1^2}{L_1}, \quad \text{et} \quad \tfrac{1}{2}\,\frac{A_2\,E_2\,l_2^2}{L_2}.$$

Ce travail est engendré par celui accumulé dans le corps choquant et égal à $\frac{1}{2}\,\frac{P}{g}\,V^2$, qui a été épuisé à le produire, c'est-à-dire que :

$$\tfrac{1}{2}\,\frac{A_1E_1\,l_1^2}{L_1} + \tfrac{1}{2}\,\frac{A_2E_2\,l_2^2}{L_2} = \tfrac{1}{2}\,\frac{P}{g}\,V^2.$$

De plus, les pressions mutuelles sur les surfaces de contact sont égales pour les deux prismes dans toutes les périodes du

choc, et à l'instant de la plus grande compression sont représentées respectivement

par $\frac{A_1 E_1 l_1}{L_1} = \frac{A_2 E_2 l_2}{L_2}$, puisque $\frac{A_1 E_1 l_1}{L_1} = \frac{A_2 E_2 l_2}{L_2} = \Pi$.

Éliminant l_2 entre cette équation et la précédente, et réduisant :

$$l_1 = \frac{L_1 V}{A_1 E_1} \left\{ \left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2} \right) g \right\}^{-\frac{1}{2}} \sqrt{P} \quad (32)$$

$$\Pi = V \left\{ \left(\frac{L_1}{K_1 E_1} + \frac{L_2}{K_2 E_2} \right) g \right\}^{-\frac{1}{2}} \sqrt{P} \quad (33)$$

expressions dans lesquelles l_1 représente la plus grande compression du prisme dont la section est A_1 et Π la pression supportée au moment de la plus grande compression.

28. *Pressions mutuelles* Π *de la surface de contact pour chaque période du choc.*

Si l représente l'espace décrit par l'extrémité du prisme choquant qui ne produit pas le choc, il est évident qu'il comprend les espaces des deux compressions l_1, l_2 des surfaces qui se rencontrent lors du choc ; que l'on a :

$$l = l_1 + l_2, \qquad \text{or} \qquad l_1 = \frac{\Pi L_1}{A_1 E}, \; l_2 = \frac{\Pi L_2}{A_2 E}$$

donc

$$l = \Pi \left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2} \right) \quad (34)$$

et

$$\Pi = l \left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2} \right)^{-1} \quad (35)$$

29. *Mesure de la compressibilité des prismes.*

Appelons λ l'espace parcouru par la surface extérieure du corps choquant lorsque, sans choc, la pression mutuelle des surfaces de contact est de 1 kil., ou en d'autres termes, soit λ la somme des étendues des compressions dues à la pression d'un kilog. D'après l'équation précédente,

$$\lambda = \frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2}$$

λ peut être pris pour mesure de la somme des compressibilités des prismes, étant l'espace dont les extrémités opposées se rap-

prochent l'une de l'autre par la pression d'un kilogr. agissant dans le sens de leur longueur.

Si λ_1 λ_2 sont les compressions des prismes soumis *séparément* à la compression d'un kilog. appliqué sur chacun d'eux, $\lambda_1 = \frac{L_1}{A_1 E_1}$, $\lambda_2 = \frac{L_2}{A_2 E_2}$; par conséquent la compressibilité des deux prismes est égale à la somme des compressibilités des prismes séparés.

30. *Travail* u *dépensé pour les compressions des prismes pendant le choc.*

Le travail dépensé pour la compression l_1 est représenté par $\frac{1}{2}\frac{A_1 E_1}{L_1} l_1^2$, et en substituant la valeur de l_1 (30) par $\frac{1}{2}\frac{L_1}{A_1 E_1}\Pi^2$.

Semblablement le travail dépensé pour la compression l_2 est $\frac{1}{2}\frac{L_2}{A_2 E_2}\Pi^2$,

donc $u = \frac{1}{2}\left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2}\right)\Pi^2$ et substituant pour Π sa valeur (35),

$$u = \frac{1}{2} l^2 \left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2}\right)^{-1} = \frac{1}{2}\frac{l^2}{\lambda} \qquad (36)$$

31. *Calculer la vitesse du corps choquant, le choc étant produit suivant la verticale.*

Il est évident que, dans toute période, la vitesse du corps choquant étant v, il a été dépensé pour la compression des deux corps une somme de travail égale à celle accumulée dans le corps en mouvement avant le choc, augmentée du travail produit par la gravité pendant le choc et diminuée de la quantité qui reste dans le corps, c'est-à-dire :

$$\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 + P\,l - \frac{1}{2}\frac{P}{g}v^2 = u$$

c'est la quantité consommée par la compression.

Égalant à la valeur de u trouvée précédemment (36), on a :

$$\frac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 + P\,l - \frac{1}{2}\frac{P}{g}v^2 = \frac{1}{2} l^2 \left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2}\right)^{-1}$$

ou

$$v^2 = V^2 + 2lg - \frac{l^2 g}{P}\left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2}\right)^{-1} \qquad (37)$$

ou en substituant à la place de l sa valeur en fonction de Π trouvée plus haut (35),

$$v^2 = V^2 + g\left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2}\right)\left(2\Pi - \frac{\Pi^2}{P}\right) \qquad (38)$$

32. *Sonnette à battre les pieux.*

La sonnette qui sert à battre les pieux (fig. 4) réalise sensiblement le système dont on vient de parler, le mouton et le pieu étant deux prismes assujettis à se mouvoir suivant la verticale par la chute du premier.



Fig. 4.

Avant la période du choc et de la pression exercée par le mouton sur la tête du pieu, il est évident que, si son poids excède la résistance opposée par la cohésion et le frottement de la masse dans laquelle il doit s'enfoncer, il y entrera jusqu'à ce que la résistance devienne trop grande. Soit F cette résistance, V la vitesse du mouton à l'instant du choc et v cette vitesse au moment où le pieu se meut avec lui ; enfin, P_1 et P_2 les poids du mouton et du pieu. Comme celui-ci reste immobile dans les temps qui séparent les chocs, les pressions mutuelles Q des surfaces en contact ont été lors du mouvement $F - P_2$, et l'on a l'équation (38)

$$v^2 = V^2 - g\left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2}\right)\left\{\frac{(F - P_2)^2}{P_1} - 2(F - P_2)\right\} \qquad (39)$$

La valeur de v déterminée par cette équation peut être une quantité imaginaire, c'est-à-dire qu'il est possible qu'aucun mouvement ne soit communiqué par le choc du mouton. L'inégalité suivante est une condition nécessaire de l'enfoncement du pieu :

$$V^2 > g\left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2}\right)\left\{\frac{(F - P_2)^2}{P_1} - 2(F - P_2)\right\} \qquad (40)$$

Quand le pieu est enfoncé d'une quantité quelconque, une partie du travail accumulé dans le mouton avant le choc a été dépensée à surmonter le long du chemin parcouru la résistance qui s'oppose au mouvement du pieu ; une autre portion a été dépensée

par la compression des surfaces du mouton et de la tête du pieu (qu'on a soin de cercler en fer pour rendre cette consommation un minimum), enfin le reste est accumulé dans les masses en mouvement formées du mouton et du pieu. Bientôt, par la consommation de partie du travail moteur, le mouvement du pieu cesse jusqu'à une nouvelle période de maximum de compression du mouton et du pieu, la réaction de la surface de la tête du pieu, et, par suite, la pression qui peut l'enfoncer, croissant jusque-là.

Si la surface est dénuée d'élasticité, n'a pas de tendance à recouvrer les formes qu'elle possédait avant le maximum de compression, le mouton et le pieu se meuvent avec une vitesse commune, et s'arrêtent ensemble; le seul travail dépensé inutilement pendant le choc a été employé à déformer des parties du mouton et du pieu voisines du contact. Si, au contraire, les deux surfaces sont élastiques, celle du mouton revient de la position occupée lors du maximum de compression, et celui-ci prend une vitesse, relativement au pieu, de sens inverse du mouvement de celui-ci. Jusqu'à ce qu'il ait repris la position, par rapport au pieu, pour laquelle le mouvement de celui-ci commençait, où leur réaction mutuelle Q surpasse la résistance F, le pieu continue à s'enfoncer. Quand le mouton a, dans son mouvement rétrograde, dépassé ce point, le pieu peut encore continuer à s'enfoncer d'une petite quantité, par suite du travail emmagasiné pendant la période où Q était plus grand que F. Le mouton, se relevant, passe par le point pour lequel son poids est équilibré exactement par la réaction élastique des surfaces, et jusqu'à ce point continue à acquérir une certaine vitesse; une certaine quantité de travail peut y être accumulée. Ce travail, comme celui employé à produire la compression des surfaces de contact, n'a pas servi à produire l'enfoncement du pieu, a été dépensé inutilement. Si le mouton, dans son mouvement relativement rétrograde, atteint à l'instant où le mouvement du pieu cesse, le point pour lequel son poids est en équilibre avec la force élastique des surfaces en contact, sa vitesse, relativement au pieu, va en diminuant, et son mouvement cesse en même temps que celui du pieu. Dans ce dernier cas, en chaque instant, le mouton et le pieu se meuvent et s'arrêtent ensemble; tout le travail accumulé dans la chute du mouton est utilement employé à enfoncer le pieu,

excepté celle qui produit la déformation permanente des surfaces. L'on peut établir, par suite, que c'est le cas du maximum d'effet. Nous allons donner ci-après une discussion analytique de toutes les conditions du mouvement sous une forme très-générale.

33. *Un prisme choqué par un autre peut se déplacer suivant son axe,* F *étant la résistance constante qu'il rencontre dans cette direction : on demande de déterminer les conditions de mouvement pendant le choc et les circonstances diverses du choc.* (fig. 5.)



Fig. 5.

Si f_1, f_2 représentent les accélérations gagnées ou perdues par seconde par le prisme choquant et le prisme choqué, les pressions étant les mêmes pour chaque corps en chaque instant, $\frac{P_1}{g} f_1$, $\frac{P_2}{g} f_2$ représenteront les forces effectives agissant entre ces deux corps ou les pressions. D'après le principe de d'Alembert, il y aura équilibre entre ces forces, si on les applique en des directions opposées, et les autres forces qui agissent sur le système.

La pression agissant sur le système, composé de deux prismes pesants, est $P_1 + P_2 - F$, d'où

$$\frac{P_1}{g} f_1 + \frac{P_2}{g} f_2 = P_1 + P_2 - F \qquad (41)$$

D'ailleurs la pression agissant sur le prisme $PQ = P_2 + Q - F$, Q étant la pression mutuelle des prismes en Q, donc

$$\frac{P_2}{g} f_2 = P_2 + Q - F \qquad (42)$$

Soit A la position de l'extrémité B du prisme choquant au moment du choc. Si x_1 représente l'étendue dont la longueur des deux corps BP a été diminuée lors du choc, et x_2 l'espace parcouru par la pointe P; alors (35)

$$Q = x_1 \left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2} \right)^{-1} = \frac{x_1}{\lambda} \qquad (43)$$

Comme $AB = x_1 + x_2$, la vitesse du point B $= \frac{d(x_1 + x_2)}{dt}$ et par suite l'accélération $f_1 = \frac{d^2 x_1}{dt^2} + \frac{d^2 x_2}{dt^2} = \frac{d^2 x_1}{dt_2} + f_2$.

Substituant ces valeurs de f_1 et de Q dans les équations (41) et (42), et éliminant f_2, on obtient l'équation :

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} = -\frac{g}{\lambda}\left(\frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2}\right) x_1 + \frac{F g}{P_2} \qquad (44)$$

Intégrant cette équation aux différences partielles par les méthodes décrites dans les traités de calcul infinitésimal, on obtient :

$$x_1 = A \sin \gamma t + B \cos \gamma t + \frac{F g}{\gamma^2 P_2} \qquad (45)$$

la valeur de γ, qui entre dans cette équation est déterminée par la suivante :

$$\gamma^2 = \frac{g}{\lambda}\left(\frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2}\right) = g \left\{\frac{P_1^{-1} + P_2^{-1}}{L_1 (A_1 E_1)^{-1} + L_2 (A_2 E_2)^{-1}}\right\} \qquad (46)$$

A et B, sont des constantes déterminées par les conditions de la question.

Substituant dans l'équation (42) la valeur de Q, tirée de l'équation (43), et résolvant par rapport à f_2,

$$f_2 = \frac{g}{P_2 \lambda} x_1 + \left(1 - \frac{F}{P}\right) g \qquad (47)$$

Remplaçant x_1, par sa valeur (45), et f_2 par sa valeur $\frac{d^2 x_2}{dt^2}$ et réduisant :

$$\frac{d^2 x_2}{dt^2} = \frac{A g}{P_2 \lambda} \sin \gamma t + \frac{B g}{P_2 \lambda} \cos \gamma t + \left(1 - \frac{F}{P_1 + P_2}\right) g.$$

Intégrant entre les limites 0 et t, et observant que pour $t = 0$ $\frac{dx_2}{dt} = 0$, le temps étant mesuré à partir du commencement du mouvement du prisme PQ :

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{A g}{P_2 \lambda \gamma}(1 - \cos \gamma t) + \frac{B g}{P_2 \lambda \gamma} \sin \gamma t + \left(1 - \frac{F}{P_1 + P_2}\right) g t.$$

Intégrant une seconde fois entre les mêmes limites,

$$x_2 = \frac{A g}{P_2 \lambda \gamma^2}(\gamma t - \sin \gamma t) + \frac{B g}{P_2 \lambda \gamma^2}(1 - \cos \gamma t) + \frac{1}{2}\left(1 - \frac{F}{P_1 + P_2}\right) g t^2 \qquad (48)$$

Remarquons que quand cesse le mouvement du second prisme $\frac{dx_2}{dt} = 0$, d'où, pour la valeur correspondante de t représentée par T,

$$A(1 - \cos \gamma T) + B \sin \gamma T + \left(1 - \frac{F}{P_1 + P_2}\right) P_2 \lambda \gamma T = 0 \quad (49)$$

Pour déterminer les constantes A et B, il faut observer que le mouvement du prisme QP ne commence que lorsque la pression Q engendrée par le prisme en mouvement, augmentée de son poids, est égale à la résistance F qui s'oppose au mouvement. Si c est la valeur de x_1, (c'est-à-dire la somme des compressions des deux prismes) en cet instant, prenant la valeur de Q dans l'équation (43),

$$\frac{c}{\lambda} + P_2 = F \text{ ou } c = (F - P_2)\lambda = (F - P_2)\left(\frac{L_1}{A_1 E_1} + \frac{L_2}{A_2 E_2}\right) \quad (50).$$

Prenons l'origine du temps au moment où la compression est produite, et le prisme PQ sur le point de se mouvoir; substituant la valeur précédente de c dans l'équation (45), et observant que pour $x = c, t = 0$, on a : $(F - P_2)\lambda = B + \frac{Fg}{\gamma^2 P_2}$ qui, mis dans l'équation (46), donne après réduction :

$$B = \frac{(F - P_1 - P_2)g}{\gamma^2 P_1} = \lambda\left(\frac{F}{P_1 + P_2} - 1\right) P_2 \quad (51)$$

Lorsque l'extrémité s'arrête après le choc, le point B se relève de la compression des deux prismes, avec la vitesse représentée par $\frac{dx_1}{dt}$. La valeur de $\frac{dx_1}{dt}$, quand $t = 0$, est représentée d'ailleurs par v (39). Différenciant l'équation (45), prenant $t = 0$ et remplaçant $\frac{dx_1}{dt}$ par v, on obtient $v = \gamma A$; c'est-à-dire que la valeur de A est obtenue en divisant la racine carrée du second membre de l'équation (39) par γ.

Substituant les valeurs de A et B dans l'équation (49), il vient:

$$\frac{v}{\gamma}(1 - \cos \gamma T) + \lambda P_2 \left(\frac{F}{P_1 + P_2} - 1\right) \sin \gamma T$$
$$+ \left(1 - \frac{F}{P_1 + P_2}\right) P_2 \lambda \gamma T = 0.$$

Réduisant et divisant par le facteur commun aux deux derniers termes :

$$\frac{v(1-\cos\gamma T)}{\gamma\lambda\, P_2\{F(P_1+P_2)-1\}}+\sin\gamma T-\gamma T=0 \qquad (52)$$

Substituant les valeurs de A et B dans l'équation (48), et représentant par D la valeur de x^2 quand $t = T$

$$D=\frac{vg}{P_2\lambda\gamma^3}(\gamma T-\sin\gamma T)+g\left(\frac{F}{P_1+P_2}-1\right)\left(\frac{\text{vers.}\,\gamma T}{\gamma^2}-\tfrac{1}{2}T^2\right) \qquad (53)$$

La valeur de T étant déterminée par l'équation (52) donne, étant substituée dans (53), la valeur de l'espace que parcourt le second prisme par l'effet du choc du premier [1].

IV. THÉORIE DU BALANCIER.

34. La déformation permanente produite par le choc, que l'on cherche à éviter dans plusieurs des cas qui précèdent, et que l'on *n'étudie* alors que pour trouver l'explication des phénomènes, pour retrouver la totalité du travail dépensé, est, au contraire, le but principal que l'on se propose d'atteindre au moyen d'une nombreuse famille d'outils et de machines-outils : les marteaux, les pilons, les balanciers. C'est surtout de ces derniers que nous nous occuperons ici; mais tous les principes généraux que nous établirons sont applicables également à ces divers outils. Ils sont directement employés à comprimer le corps sur lequel on opère pour modifier sa forme ou le pulvériser; c'est là l'opération industrielle proposée.

La première condition à remplir est de faire en sorte que le corps sur lequel on agit ne puisse se déplacer, condition évidem-

1. Le principe de ce mode de calcul est dû à M. Airey, le célèbre astronome de Greenwich.

La valeur de γ résultant de l'équation (52) n'est pas très-grande, et celle de T est toujours, dans la pratique, excessivement petite, la valeur de γT est donc toujours très-faible; on peut donc obtenir une valeur approchée de T, à l'aide de l'équation (52) simplifiée, en remplaçant cos γT et sin γT, par les deux premiers termes du développement de ces fonctions en γT.

ment nécessaire pour que la force vive de la masse en mouvement puisse être convertie en travail de déformation. Cela revient à dire qu'il faut que le poids de l'enclume et du bâti sur lequel elle repose soit très-grand, relativement à celui du marteau; à rendre comme nous l'avons vu (10) très-considérable la masse qui supporte le corps qui reçoit le choc. Comme le fait observer M. Poncelet, si une enclume est assise sur un terrain mou, la force vive qu'acquiert cette enclume est alors, en partie, consommée à produire l'enfoncement du sol; aussi, les maîtres de forge entendus ont-ils soin de placer de gros blocs de bois sous leurs enclumes...; celles-ci ne prenant qu'un mouvement insensible et n'acquérant qu'une force vive très-faible, les pertes de travail consommé à déformer ou comprimer le sol sont tout à fait négligeables. C'est ainsi que les choses se passent dans la pratique industrielle pour des opérations qui ne dépassent pas les limites pour lesquelles l'appareil a été établi, et surtout lorsque toute l'action se passe dans l'intérieur d'une même masse de métal, comme cela a lieu pour le balancier.

Le fait de la transformation de la force vive d'un corps en travail de déformation se rencontre en chaque instant, puisque de nombreuses opérations industrielles sont fondées sur cette propriété; le travail de la forge, le monnayage, peuvent être cités parmi les plus importants. C'est dans ce dernier cas, dans l'emploi du balancier, que nous l'étudierons ici.

35. Le balancier se compose essentiellement d'une cage très-résistante, portant un écrou dans lequel se meut une vis de forte dimension qui porte la pièce destinée à effectuer la percussion, vis mise en mouvement rapide à l'aide d'une barre qui traverse sa tête et dont les extrémités sont munies de masses pesantes, ou qui porte un volant comme dans l'appareil représenté fig. 6, et sur lequel je donnerai plus loin quelques détails.

Cherchons l'équation comprenant les divers termes qui se rapportent aux divers effets qui se passent dans le balancier, analyse qui me paraît clairement vérifiée par l'étude expérimentale des faits, comme je l'indiquerai plus loin.

Le travail moteur qu'il s'agit d'utiliser dans le but d'effectuer une opération industrielle est la force vive des masses en mouvement, et surtout celle qui a été communiquée aux boules ou

au volant qui garnit la tête de la vis, bien plus grande que celle de leur mouvement vertical et de celui de la vis. Cette quantité $\frac{P_1}{g} V^2$ comprendra les deux effets si elle est prise pour le point où le choc va avoir lieu, et lorsqu'il est encore possible de déterminer expérimentalement la vitesse. Si on la mesurait lorsque l'impulsion vient d'être communiquée, il y aurait à ajouter à la force vive observée, le travail dû à la pesanteur pendant la descente du système, et à retrancher le travail du frottement sur le plan incliné formé par le filet de la vis, et que l'on sait calculer.

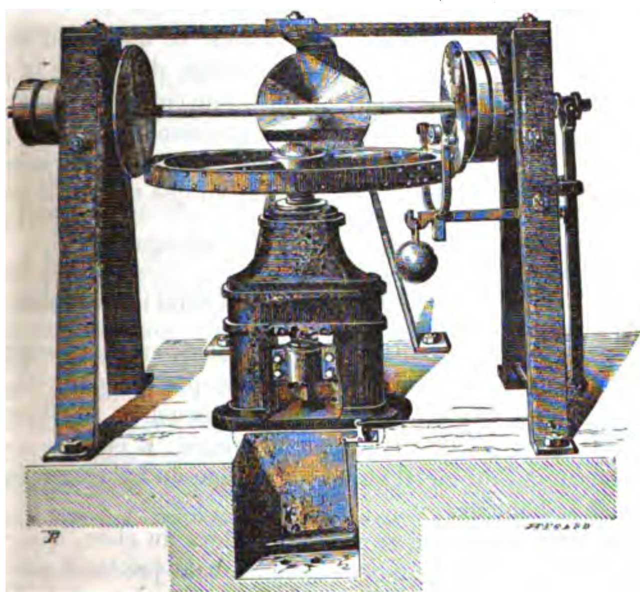


Fig. 6.

C'est par l'effet du travail emmagasiné par l'inertie de masses mises en mouvement, qu'un corps dur, le coin en acier trempé ajusté dans la boîte coulante poussée par l'extrémité de la vis du balancier, et guidée dans deux glissières portées par la cage de celui-ci, vient choquer le corps à façonner par le choc. La force vive motrice se trouve alors consommée sous trois formes que nous allons successivement calculer.

1° La pénétration dans le corps sur lequel on opère, son écra-

sement, l'effet mécanique auquel ses molécules obéissent. Si a est la surface du coin, e la profondeur de l'impression à un instant donné, on peut admettre (ce que l'expérience confirme dans le cas examiné plus loin) que la résistance est constante pour un même métal et proportionnelle à la superficie a, de telle sorte que K représentant la résistance par mètre carré à la compression, on a pour la résistance $F = Ka$, et pour le travail élémentaire consommé à surmonter cette résistance $Fdl = Kade$, et, enfin, pour le travail total Kae, e étant alors l'enfoncement total.

2° La résistance élastique du balancier, quantité dont il n'a pas été tenu compte, à notre connaissance, dans les essais de calcul des effets du balancier déjà tentés, ce qui est d'autant moins admissible dans le plus grand nombre de cas de la pratique, les enfoncements sont, le plus souvent, excessivement petits, et, par suite, la quantité de travail consommé par la première cause n'est le plus souvent que dans une proportion minime avec le travail total dépensé. Nous avons vu que Π étant le poids produisant un allongement élastique l, était égal à $\Pi = \frac{AEl}{L}$ et son travail $\int \Pi dl = \frac{AE}{L}\int l dl = \frac{1}{2}\frac{AE}{L} l^2$: A étant ici la somme des sections des deux côtés de la cage du balancier, étant supposé qu'ils résistent également, que l'obliquité que prend la vis par son usure n'est pas sensible, cas dans lequel la résistance à la rupture serait considérablement diminuée; E étant le coefficient d'élasticité du métal qui forme la cage du balancier ou de l'écrou, L sa hauteur.

3° Les frottements qui se produisent lors du choc, qui, s'ils ont lieu le long d'un très-petit chemin, sont produits par des pressions considérables qui prennent naissance lors de la pénétration dans le métal et surtout de l'allongement élastique des montants du balancier qui vient souvent consommer la plus grande partie de la force vive sous forme de *résistance vive.*

La pression pendant l'enfoncement est Ka; elle se produit verticalement le long du chemin e qui mesure la pénétration. On sait que la force horizontale p, qui peut surmonter la résistance verticale Q, est dans la vis à filet carré, en y comprenant le frottement, $p = Q \cos. (\alpha + \varphi)$, α étant l'inclinaison du filet, φ l'angle de frottement.

Le travail total pour surmonter la résistance, sera donc pendant la pénétration dans le métal, pendant laquelle $Q = Ka$, pour un chemin horizontal parcouru $r\omega$,

$$pr\omega = r\omega\, Ka \cos. (\alpha + \varphi).$$

Or, le travail utile est $Kar\omega$ tang. α, donc le travail du frottement est $Ka\, r\omega$ (tang. $(\alpha + \varphi)$ — tang. α).

D'ailleurs, $r\omega$ tang. $\alpha = e$ ou $r\omega = \frac{e}{\text{tang. } \alpha}$, donc, enfin, on a pour l'expression du frottement sur les filets de la vis :

$$Kae \left(\frac{\text{tang. } (\alpha + \varphi) - \text{tang. } \alpha}{\text{tang. } \alpha} \right)$$

Le travail du frottement sur l'extrémité de la vis de rayon ρ est, comme pour un pivot $\frac{2}{3} f N \rho \omega$, or, ici, $f =$ tang. φ, $N = Ka$ et $\omega = \frac{e}{r \text{ tang. } \alpha}$, donc ce travail est égal à $Kae \frac{2}{3} \frac{\rho \text{ tang. } \varphi}{r \text{ tang. } \alpha}$.

Le travail total du frottement pendant la pénétration est donc :

$$Kae \left\{ \left(\frac{\text{tang. } (\alpha + \varphi) - \text{tang. } \alpha}{\text{tang. } \alpha} \right) + \frac{2}{3} \frac{\rho}{r} \frac{\text{tang. } \varphi}{\text{tang. } \alpha} \right\} = Kae\, T \quad (54)$$

En représentant par T la valeur de la quantité entre parenthèses, qui peut être déterminée, une fois pour toutes, pour un outil déterminé.

De même, la résistance élastique qui prend une grande valeur lorsque la pénétration cesse d'être possible, et que le maximum de compression a lieu, que l'épaisseur à laquelle le métal est réduit lui fait transmettre des pressions énormes sans qu'il subisse de déformation, a pour valeur $AE \frac{l}{L}$, et se produit le long d'un petit chemin vertical l dont l'écrou se relève, ce qui donne deux termes exactement semblables aux précédents pour la pression et le chemin ci-dessus. Le frottement produit dans cette période est donc $AE \frac{l^2}{L} T$.

On a donc pour l'équation générale du balancier en faisant la somme des divers éléments qui consomment la force vive totale :

$$\frac{1}{2} \frac{P}{g} V^2 = (1 + T)\, Kae + (\tfrac{1}{2} + T)\, AE \frac{l^2}{L} \quad (55)$$

dans laquelle

$$T=\frac{\text{tang.}(\alpha+\varphi)-\text{tang.}\,\alpha}{\text{tang.}\,\alpha}+\frac{2}{5}\frac{\rho}{r}\frac{\text{tang.}\,\varphi}{\text{tang.}\,\alpha} \qquad (56)$$

36. La mesure des divers éléments d'un balancier donné, et la connaissance de la valeur du coefficient K pour les divers métaux sur lesquels on peut opérer, permet de considérer cette équation comme ne renfermant pas d'autres variables que V, e et l. Les deux premières étant susceptibles d'une détermination directe, on aura par l'équation la valeur de l, c'est-à-dire de l'allongement élastique des montants de la cage du balancier, cause des vibrations, forme sous laquelle s'anéantit en se propageant partie du travail moteur.

La connaissance de la limite d'élasticité de la substance (bronze ou fonte), qui forme le corps du balancier, permettra, étant introduite dans l'équation, de déterminer la limite supérieure de la force vive que l'on peut imprimer à un balancier donné, sans danger de rupture. A cet effet on doit négliger l'action d'écrasement d'un corps malléable, ce qui, au reste, est un cas fréquent dans la pratique, et pour cela il suffit de supprimer de l'équation les termes en Kae. On doit supposer aussi, comme je l'ai dit au début, que tout le travail moteur est consommé en actions intérieures, qu'une fraction notable de la force vive n'est pas employée à mouvoir le bâti et la construction qui le supporte.

Il faut aussi observer que, si un jeu trop grand de la vis dans son écrou permet à celle-ci de prendre une obliquité sensible lorsque le choc a lieu, l'action cesse d'être la même sur les deux côtés de la cage, et la rupture peut se produire pour une quantité de travail moindre que celle qui serait déterminée ainsi qu'il vient d'être dit, à l'aide de la limite d'élasticité, du point où l'allongement de la substance qui forme la cage du balancier commence à être permanent, point qui ne saurait être atteint sans danger.

37. *Expérimentation.* — J'ai fait quelques observations expérimentales sur un balancier, dont je dirai ici quelques mots. Je les ai tentées à propos d'une très-heureuse invention de M. Cheret, mécanicien à Paris, pour imprimer le mouvement aux balanciers à l'aide d'une machine à vapeur, problème qui

n'avait pas encore été résolu d'une manière simple; aussi tous les balanciers des ateliers étaient-ils, il y a encore peu de temps, mus à bras. Je suis entré dans des détails étendus sur cette invention dans un rapport que j'ai fait à la Société d'encouragement pour l'industrie, dans sa séance du 20 avril 1861. Je me contenterai de dire ici, en quelques mots, en quoi elle consiste. (Fig. 6.)

Deux plateaux montés sur un axe horizontal mis en mouvement par la machine à vapeur sont susceptibles, par l'effet de leviers mus par une pédale, de venir en contact d'un lourd volant monté sur la tête du balancier, dont le contour est garni de cuir, ce qui donne une adhérence considérable, le frottement étant alors 0.30 de la pression. Le plateau de gauche servant à faire descendre la vis, celui de droite la relève et la maintient en l'air, son jeu étant assuré par l'effet d'un contre-poids qui le fait agir aussitôt que l'on cesse de presser sur la pédale. Cette espèce d'engrenage par frottement agit parfaitement pour lancer le volant, de telle sorte que l'arrêt instantané du balancier n'entraîne aucune rupture, et que rien ne s'oppose au mouvement continu de descente et d'ascension de la vis, c'est-à-dire que les deux conditions spéciales qui s'opposent à l'emploi des transmissions ordinaires sont parfaitement satisfaites par cette heureuse disposition.

Voulant étudier la loi de l'accélération ainsi obtenue, j'ai monté un crayon sur la boîte coulante qui est supportée par l'extrémité de la vis au moyen d'un collet et que des guides contraignent à se mouvoir en ligne droite, et je lui ai fait tracer une courbe sur une petit cylindre en bois garni de papier, et mis en mouvement par un fort barillet dont le déroulement était régularisé par un volant à ailettes. Le temps total du mouvement était facilement déterminé en suivant le mouvement du volant du balancier avec un compteur à pointage.

Ces courbes ont bien démontré la nécessité d'exercer de faibles pressions avec la pédale au commencement du mouvement du volant, puisque alors le travail de frottement de glissement est considérable; mais de plus elles ont indiqué quelques faits relatifs au choc, avec pénétration dans le métal, qui me paraissent fort intéressants.

Je reproduis ici fig. 7 la moitié la plus curieuse d'un dia-

gramme (réduit à l'échelle $\frac{1}{4}$ dans la longueur et $\frac{2}{3}$ dans la hauteur) obtenu en frappant entre deux coins d'acier un morceau de cuivre de $6^{mm}.1$ d'épaisseur réduit à $2^{mm}.70$ par le choc; sa surface était de 42 millimètres carrés.

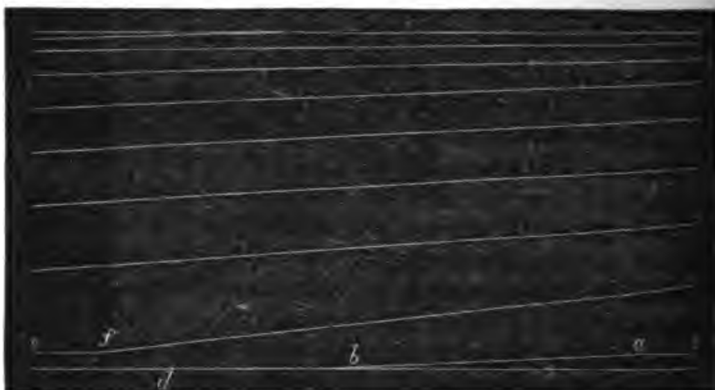


Fig. 7.

L'instant où commence et finit la pénétration est bien indiqué par les parties horizontales qui résultent du temps perdu de la vis à filet carré. Lorsque le coin vient poser sur la plaque de cuivre, la courbe de descente est remplacée par cette cause par une partie horizontale *efac*, puis la courbe de pénétration *bc* est tracée, enfin la courbe horizontale *db* se continue jusqu'au mouvement inverse. La courbe *bc* sous-entend un arc de $\frac{1}{4}$ de circonférence, et comme une révolutiom complète se produisait en 0.6 de seconde, le temps de cette pénétration était donc de 0.15 de seconde.

Au moment où celle-ci commence, l'observation donne $\frac{\Delta e}{\Delta t}$, la vitesse verticale, la distance Δe étant relevée sur la courbe est 0,0167 et Δt égale 0,6 de seconde, ce qui donne la vitesse $0^m,027$ en 1″; par suite celle du volant est d'après le rapport des diamètres de la vis à celui du volant $\frac{2,25}{0,105} \times 0,027 = 1,71$, ce qui répond à une force vive de 76 kil. mètres; le volant pesant 434 kil. et étant porté par une verge assemblée à la tête de la vis d'un poids de 131 kilog.

A la fin de la pénétration, lorsque la réaction du métal cesse, le mouvement tendrait à se continuer avec la vitesse mesurée par l'inclinaison de la tangente à la courbe de pénétration. Celle-ci, comparée à celle de la courbe de vitesse initiale, montre que la vitesse verticale est diminuée de 0,56, ou celle du volant n'est plus que de $1^m,15$, et la force vive de 36 kilog. La pénétration a donc coûté 40 kilogrammètres. L'observation permet donc de séparer ici les deux effets, et l'on a : $(1+T)\,Kae = 40$ kil.

38. La forme de la courbe de pénétration nous paraît très-importante à signaler ; elle justifie complétement l'expression Kae que nous avons adoptée, car elle est rectiligne, c'est-à-dire qu'en présence d'une force de compression considérable, l'enfoncement est le même pour chaque instant ; le métal malléable s'écoule en quelque sorte en offrant toujours la même résistance, comme j'avais déjà cru le reconnaître pour le plomb. C'est une erreur d'admettre que la résistance croît comme le degré d'écrouissage des métaux ; celui-ci a bientôt atteint un maximum qui n'est pas dépassé lorsqu'il est libre de s'écarter latéralement.

39. Si on calcule T, on trouve dans le cas du balancier examiné, tang. $(\alpha+\varphi) = 0,35$, tang. $\alpha = 0,25$, φ étant égal à 5° (cuivre sur acier), ce qui conduit à $T = 0,53$. — D'ailleurs, $a = 429^{mmc}$. $e = 0,0034$, d'où l'on tire $K = \dfrac{40}{1,53 \times 429 \times 0,0034} = 18$ kil. par millimètre carré.

Cette valeur comparée avec celle de rupture du même métal est plus faible ; celle-ci est de $40^k.30$ par mill. carré pour le cuivre écroui. En y réfléchissant, on est peu étonné de ce défaut de concordance entre des phénomènes qui ne sont tout au plus qu'analogues. Le travail qui peut faire rouler les molécules les unes sur les autres, en les rapprochant au lieu de les écarter, est naturellement inférieur à celui capable de produire la rupture en les séparant les unes des autres ; peut-être toutefois la différence se réduirait-elle à peu de chose si l'on tenait compte des phénomènes calorifiques qui apparaissent simultanément, comme je vais le dire dans un instant.

40. J'appliquerai au balancier dont il vient d'être parlé le

mode de calcul indiqué précédemment, propre à déterminer la limite de puissance d'un balancier.

Supposant la pénétration nulle, on a :

$$\tfrac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 = (\tfrac{1}{2} + T)\, A\, E\, \frac{l^2}{L}$$

la limite des allongements élastiques, au delà desquels il y a déformation permanente et par suite bientôt rupture est $l = 0{,}0008$ ou 0,001, suivant qu'il s'agit de fonte ou de bronze; de là se déduit aisément la limite de la valeur de V et de la force vive que l'on peut faire agir sans danger de rupture au moyen d'un balancier donné. Ainsi, pour un balancier en fonte, semblable à celui étudié précédemment pour lequel $L = 0{,}40$ et la section de chaque côté de la cage est de $0^{mc},06$ et $A = 0{,}06 \times 2 = 0{,}12$, on aura pour limite :

$$\tfrac{1}{2}\frac{P}{g}V^2 = (\tfrac{1}{2} + 0{,}53)\, 0{,}12 \times 8{,}000{,}000{,}000 \times \frac{(0{,}0008)^2}{0{,}40} = 1582 \text{k.m.}$$

Limite supérieure dont il ne serait certes pas prudent de se rapprocher, et la limite pratique ne devra pas beaucoup s'éloigner de la moitié de cette quantité, soit 8 ou 900 kil. met.

41. *Des phénomènes calorifiques qui accompagnent les déformations.*

Je terminerai cette étude par une observation relative à un ordre de phénomènes laissés jusqu'à ce jour complétement de côté dans les recherches d'ordre mécanique.

Le principe de la conservation des forces vives conduit à la nécessité d'expliquer par la déformation des corps et les vibrations la perte apparente de forces vives qui se produit dans le choc des corps. Cette explication est-elle suffisante et ne peut-il résulter d'autres effets que des effets mécaniques, des ébranlements moléculaires qui sont alors produits? Cela n'est nullement prouvé, bien qu'admis comme évident jusqu'ici. En effet, il semble que des effets calorifiques doivent apparaître en même temps. La production du travail mécanique par la chaleur ayant conduit à considérer celle-ci comme consistant en un mouvement atomique, on ne saurait agir directement sur elles, augmenter leur force vive par des actions qui peuvent les mettre isolément en mouvement, sans produire de la chaleur.

Citons d'abord quelques faits connus qui prouvent qu'il en est ainsi dans le cas du choc. C'est une expérience que tout le monde a faite, qu'en battant avec un marteau sur une enclume un morceau de métal malléable, de plomb par exemple, il s'échauffe considérablement. On finit par le voir s'éparpiller en gouttelettes sous le marteau. En battant à coups redoublés une baguette de fer, on parvient à la faire rougir (*Physique* de Daguin). Cette production de chaleur n'a pas lieu pour les corps durs, qui se réduisent en fragments par l'effet des chocs.

On rapporte dans beaucoup d'ouvrages de physique une expérience de Berthollet qui démontre clairement que l'effet calorifique est intimement lié à l'écrasement du métal, aux déplacements ou à la grandeur de la force vive communiquée aux molécules. Je rapporterai ici le passage de la *Physique* de M. Daguin, qui a trait à ces expériences :

« Ces habiles physiciens (Berthollet, Pictet et Biot) comprimèrent brusquement, sous un balancier à frapper les monnaies, des flans d'or, d'argent ou de cuivre, disposés de manière à ne pouvoir s'étendre latéralement. La compression fut accompagnée d'une élévation de température qui fut la plus élevée pour le cuivre et la plus faible pour l'or. Pour l'évaluer, on jetait promptement dans l'eau le disque frappé et l'on appliquait ensuite la méthode des mélanges. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que l'échauffement allait en diminuant, à mesure que les coups de balancier se multipliaient. Ainsi, dans une expérience un disque de cuivre éprouva un échauffement de 11°,5 au premier choc, 2°,5 au second et de 0°,8 seulement au troisième, après lequel il n'y eut plus d'élévation de température. Les trois premiers chocs avaient écroui le disque et augmenté sa densité..., et l'échauffement total des disques de diverses substances s'est toujours trouvé proportionnel à la diminution de volume qu'ils avaient éprouvée. »

42. La production de la chaleur lors du choc des corps est donc un fait bien constaté, et au reste d'une réalisation facile. Il suffit pour cela que le métal soumis au balancier soit assez épais pour que la valeur de Kae soit suffisamment grande, car pour un métal très-dur ou déjà écroui par des coups de balancier, ou pour une lame mince, pour laquelle e sera extrêmement

petit, il n'y a aucun dégagement perceptible, tandis qu'il est très-notable dans le premier cas. De cette proportionnalité au moins approchée entre l'effet calorifique et la déformation, il résulte que l'équation (56) ne laisse rien à désirer pour la pratique, si le coefficient K du terme Kae est déterminé par expérience de manière à tenir compte non-seulement de la résistance directe du corps à l'action mécanique, mais aussi de la production de mouvements moléculaires calorifiques qui naissent en même temps, évalués en travail.

Ce n'est évidemment que par la production directe de mouvements moléculaires que l'apparition de la chaleur peut s'expliquer dans ce genre d'effets, et l'explication indiquée dans le passage rapporté ci-dessus est insuffisante. S'il est admissible que le cuivre, étant écroui, dégage de la chaleur à mesure qu'il augmente de densité, il faut aussi expliquer la production de chaleur par le martelage du plomb libre de s'étendre, dont la densité ne change pas, comme Bisson l'a constaté depuis longtemps. Il faut bien alors admettre la production de la chaleur par le seul fait de la communication du mouvement aux molécules élémentaires. Or ce fait capital de la théorie mécanique de la chaleur n'est pas moins important pour la théorie du choc.

En effet, et je le répète pour bien attirer l'attention sur ce point capital, il n'est nullement constaté par mesure directe que la seule déformation d'un corps qui ne change pas de densité par une percussion (pour m'en tenir au cas le plus simple) puisse rendre compte de la quantité de forces vives qui disparaît lors du choc. Ce n'est que pour satisfaire au principe de la conservation des forces vives qu'on le suppose, et cependant cela n'est pas exact; outre la déformation et les vibrations de masse, il se produit des vibrations moléculaires qui constituent un effet calorifique facile à constater, et qui est encore une forme de forces vives moléculaires. L'équivalence du travail mécanique et de la chaleur force à reconnaître que cette chaleur est due à partie du travail mécanique consommé par le choc, et par suite que le principe de la conservation des forces vives serait en défaut, si on ne tenait pas compte de la chaleur dégagée, ou plutôt de la quantité de travail qu'elle peut produire.

Je rappellerai, pour démontrer l'importance de ne pas négliger cet élément, surtout quand il s'agit d'actions produites à de

grandes vitesses, les belles expériences de MM. Piobert et Morin sur les pénétrations des projectiles d'artillerie. En tirant sur des plaques de fer, le projectile était brisé, et les faces de rupture conservaient des colorations bleues, indice d'une haute température. En faisant le calcul, en partant d'un semblable échauffement pour partie du projectile, on arrive à l'aide de la chaleur spécifique de la fonte et de l'équivalent mécanique de la chaleur, à un nombre de kilogrammètres qui est une fraction notable de celui qui mesure la force vive initiale.

On voit combien des recherches entreprises dans cette direction peuvent offrir d'intérêt. J'espère pouvoir prochainement compléter mes premières expériences sur le balancier dans des conditions de plus grande précision et en mesurant à la fois le travail consommé et la chaleur dégagée que j'ai bien nettement constatée dans mes expériences, mais que j'ai évaluée trop imparfaitement pour pouvoir en parler ici autrement que pour établir que sa quantité est notable toutes les fois que la déformation est sensible, que partie des molécules du corps prend d'autres mouvements que ceux de la masse du corps.

NOTE

SUR UNE NOUVELLE DISPOSITION PROPRE A FACILITER L'OBSERVATION DES AIGUILLES AIMANTÉES DANS LES INSTRUMENTS DE PRÉCISION.

PAR F. P. LEROUX.

Le rôle important que jouent les aiguilles aimantées dans un grand nombre d'instruments de physique et de lever de plans, m'a fait penser qu'on trouverait quelque intérêt à la description détaillée d'une disposition nouvelle que j'ai récemment fait exécuter, et qui m'a paru rendre à la fois facile et précise l'observation de cette sorte d'instruments.

Quand il s'agit d'appareils fixes, le principe du magnétomètre à réflexion, imaginé par Weber, a permis non-seulement d'atteindre, mais de surpasser même, toute la précision désirable dans l'observation des barreaux aimantés. Mais les appareils portatifs sont encore loin, comme le savent les expérimentateurs, d'atteindre à une telle perfection.

Deux points essentiels sont à distinguer dans la disposition d'une aiguille aimantée destinée à des observations precises: d'abord la suspension, ensuite la manière dont on apprécie les mouvements de cette aiguille.

La suspension doit être aussi libre que possible et assurer en même temps la parfaite invariabilité de l'axe d'oscillation. Cette seconde condition interdit la suspension pendulaire dans les appareils portatifs. La suspension sur pivots a reçu dans ces derniers temps un perfectionnement notable de M. le capitaine Goulier (Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1860, t. 50, p. 314), qui a eu l'heureuse idée de faire exécuter des chapes en saphir et, chose encore plus importante, de les faire exécuter consciencieusement par un artiste habile[1]. Je me suis assuré de l'excellence de ce mode de suspension, que l'on devra supposer employé dans la disposition que nous allons décrire.

1. M. Gindraux, pierriste à Paris.

La meilleure suspension ne serait évidemment rien sans un moyen précis d'observer les déplacements angulaires de l'aiguille. Cette observation présente de graves difficultés. Deux moyens ont été principalement employés jusqu'ici. Le premier consiste à tracer sur l'extrémité de l'aiguille un ou plusieurs traits qui viennent se présenter devant un trait de repère; la petite figure ci-contre rappelle cette disposition. Mais l'œil qui doit

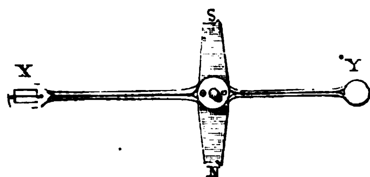


Fig. 1.

juger de la coïncidence des traits est sans cesse aux prises avec une double difficulté résultant, d'une part, de l'intervalle qu'il faut laisser entre le cadran et l'extrémité de l'aiguille pour assurer la liberté de ses mouvements, et, d'autre part, causée par les oscillations de la pointe de l'aiguille perpendiculairement au plan horizontal dans lequel nous la supposons placée.

Un second procédé assez fréquemment employé consiste à armer l'extrémité de l'aiguille d'un petit index qui se projette sur le repère fixe. Mais les mêmes causes que précédemment donnent naissance à la même incertitude. Il est obligatoire, en effet, de laisser une certaine distance entre cet index et le plan où est tracé le repère. Il en résulte une erreur de parallaxe qui est toujours assez considérable.

Ces inconvénients, très-sensibles dans les instruments topographiques, deviennent extrêmement fâcheux dans les boussoles destinées à la mesure des intensités électriques. Dans ces appareils, en effet, on ne se borne pas, comme dans les premiers, à observer l'aiguille dans le voisinage du méridien magnétique; mais c'est le plus souvent très-loin de ce plan, et même jusqu'à 90°, que se fait l'observation. Or on sait qu'une aiguille étant équilibrée de manière à se maintenir horizontale lorsqu'elle est dans le plan du méridien magnétique, elle perd d'autant plus de son horizontalité qu'on l'écarte davantage de ce même méridien.

On voit que l'imperfection du pointé vient du défaut de coïncidence de l'index porté par l'aiguille et du repère. La difficulté subsiste tant que l'on prend pour repère un objet matériel. Il n'en sera plus de même si ce repère est une image aérienne fournie par une mire au foyer d'un objectif. Les oscillations verticales de l'aiguille pourront alors s'effectuer en toute liberté, et celle-ci étant complétement isolée, on n'aura rien à craindre des filaments qui viennent souvent entraver sa marche en s'interposant entre l'index et le repère.

Enfin, si l'index est porté par un bras perpendiculaire à l'axe magnétique de l'aiguille, et que ce même index soit une droite qui, suffisamment prolongée, passerait précisément par le sommet du pivot de suspension, on voit facilement que cette droite, qui doit être horizontale, n'est autre chose que l'axe des oscillations verticales de l'aiguille, et que par conséquent la position de l'index ne pourra être affectée que par les variations angulaires de l'aiguille dans le sens horizontal.

Tel est l'esprit de la disposition représentée dans la figure 2, qui donne en demi-grandeur la coupe verticale d'un appareil ce ce genre.

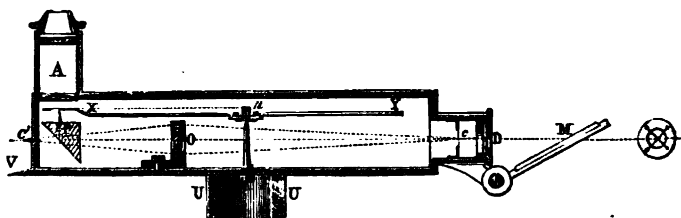


Fig. 2.

c croisée de fils de platine à la Wollaston.

D verre dépoli.

M miroir en verre étamé. Ce miroir peut prendre une inclinaison quelconque, au moyen de deux mouvements de rotation autour de deux axes rectangulaires suffisamment indiqués par la figure. Cette disposition permet de donner aux fils un éclairage convenable.

O objectif achromatique d'environ 12 millimètres de diamètre. Cet objectif donnerait en *c'* l'image de la croisée de fils *c*;

mais un prisme P à réflexion totale transporte cette image en c''.

A oculaire positif pour observer l'image.

p pivot en acier trempé qui supporte l'aiguille. Ce pivot ne doit pas être trop gros à sa partie inférieure, afin de ne pas masquer l'objectif d'une quantité trop considérable.

NS aiguille aimantée.

XY aiguille index en aluminium. En X est pratiquée une fenêtre dans laquelle on tend un fil de cocon d'araignée.

Y est une petite masse destinée à équilibrer la partie X.

L'oculaire voit le fil tendu en X se superposer à l'image c'', de telle façon que celle-ci se trouve bissectée par le fil. La figure ci-contre donne une idée de l'apparence offerte par le champ de l'oculaire. On y voit en même temps comment se trouve accusée une différence de 1 minute dans la position de l'aiguille.

Il ne me reste qu'à donner quelques indications destinées aux personnes qui voudraient réaliser une disposition semblable à celle que je viens de décrire.

Le fil tendu en X est un fil de cocon d'araignée aussi fin que possible. Mais des fils de cette nature ne seraient pas convenables pour constituer la croisée de fils *c*; l'expérience prouve qu'elle serait très-difficilement visible, parce que ces fils, à cause de leur transparence et d'une certaine dissymétrie dans leur texture, s'illuminent dans la lumière diffuse, et que leur image tranche à peine sur le fond éclairé. Il est donc de toute nécessité d'employer des fils opaques. Je me sers de fils de platine à la Wollaston. Ces fils se mettent d'ailleurs aussi facilement en place que les fils d'araignée : on les tend au-dessus du diaphragme où on veut les appliquer, et on les fixe aux points convenables par une goutte d'alliage fusible suspendue au bout d'un gros fil de cuivre légèrement chauffé.

Enfin, je dois encore appeler l'attention sur la disposition du trou d'œil de l'oculaire. En théorie, et c'est le principe même de notre disposition, le fil qui sert d'index doit se mouvoir dans le plan de l'image de la croisée de fils. Mais dans la pratique, il n'en est jamais parfaitement ainsi, et l'index se trouve tantôt au-dessus, tantôt en dessous de ce plan.

Pour détruire l'erreur de parallaxe qui en résulterait, le trou d'œil de l'oculaire est assez petit (son diamètre est inférieur à 1 millimètre), et se trouve, en outre, situé un peu loin du der-

nier verre de l'oculaire; dans notre appareil, cette distance est d'environ 12 millimètres.

Remarque. — On pourrait croire que la disposition que nous venons de décrire ne peut s'appliquer qu'aux instruments tels que les boussoles dites de sinus, où l'on est dans l'habitude de ramener toujours l'aiguille devant un même repère, mais qu'il ne saurait en être de même dans ceux où l'aiguille doit passer successivement devant les diverses divisions d'un cercle complet, comme dans les boussoles d'arpentage et autres. Il est facile, au contraire, d'y appliquer cette même disposition. On conçoit, en effet, que si tout le système que nous avons décrit est rendu mobile autour d'un axe indiqué en U, de sorte qu'on suive constamment l'aiguille dans son mouvement, et qu'un vernier V permette de mesurer ce mouvement sur un cercle divisé, on pourra lire immédiatement l'angle dont on aura tourné l'aiguille, absolument comme si son extrémité elle-même se fût mue devant un cercle divisé.

VISITE A L'EXPOSITION DE METZ.

PAR M. TRESCA.

La ville de Metz a voulu faire une exposition universelle; la Belgique, le Luxembourg, la Prusse, la Bavière, la Bohême, ont répondu à son appel, ainsi qu'un grand nombre d'industriels français qui recherchent ces concours au double point de vue des récompenses et de la publicité qu'elles procurent.

L'exposition de Metz est donc une grande exposition au petit pied; bien administrée, bien installée dans un bâtiment spécial qui ne manque pas d'une certaine élégance, on y trouve la représentation de toutes les industries, et le public ne cesse pas d'admirer la variété des produits qu'elle renferme. Le public a surtout raison en ce sens que cette variété même est une cause de succès, qui manquerait certainement aux expositions restreintes à certaines spécialités ou à certaines circonscriptions géographiques.

Pour celui qui cherche dans les solennités de ce genre plus qu'un bazar bien ordonné, qui veut sentir, derrière ces échantillons, la puissance des usines qui les envoient, pour celui qui chercherait, dans les expositions de nos départements, le caractère propre à chacun d'eux, les produits exposés à Metz ne répondraient que bien imparfaitement à son attente.

Belle par son ensemble, intéressante par ses détails, l'exposition de Metz n'offre aucun caractère tranché, si ce n'est peut-être dans les grandes industries de Sarreguemines et de Saint-Louis. Les produits métallurgiques eux-mêmes ne forment pas un ensemble tel qu'on aurait pu l'espérer dans un tel pays de production. Dans les départements voisins, la cristallerie de Baccarat s'est abstenue; l'industrie principale de Nancy, la broderie, n'a pris part au concours qu'avec une certaine réserve.

En ce qui concerne la métallurgie, cependant, nous pouvons citer, comme particulièrement remarquables, les produits de MM. Dupont et Dreyfus, d'Ars-sur-Moselle, et ceux de MM. Durenne et Zégut, de Sommevoire (Haute-Marne).

MM. Dupont et Dreyfus possèdent à Ars six hauts-fourneaux, ali-

mentés avec les minerais de la localité, qui sont pour ainsi dire dans l'usine même; l'un d'eux surtout est d'une construction en quelque sorte monumentale, si l'on peut employer ce mot pour une construction de cette nature. L'ancienne forge de cet établissement, fondé seulement après la crise de 1848, ne peut être citée que pour son importance et aussi pour son laminoir à plaques de blindages, agissant à la fois sur les quatre faces de la pièce. Nous regrettons beaucoup de n'avoir pu voir cet outil dans la visite que nous avons faite à Ars; nous pouvons dire seulement que les faces larges passent à la manière ordinaire entre deux cylindres horizontaux, et que deux cylindres verticaux sont disposés de manière à produire les faces latérales, dans la même passe.

La forge neuve, que l'on agrandit encore en ce moment, présente peut-être le type le plus avantageux que nous ayons rencontré jusqu'ici dans les établissements de ce genre. La disposition générale est celle d'une croix au centre de laquelle se trouvent deux marteaux-pilons; vingt-quatre fours à puddler occupent symétriquement trois des rayons; le quatrième est utilisé par les laminoirs. Un second ensemble tout pareil est en ce moment en cours d'exécution; l'un des bras de ce nouvel atelier est le prolongement de l'un de ceux de l'atelier actuel.

L'usine d'Ars est traversée par le chemin de fer, qui l'alimente de combustible prussien et qui donne une grande facilité pour l'expédition des produits; elle fournit des fers façonnés de toute sorte, et elle doit certainement ses succès à la résolution avec laquelle ses propriétaires se sont tout d'abord adonnés à la fabrication des fers cornières et des fers à double T. Plus que personne, MM. Dupont et Dreyfus, par l'importance et la variété de leurs assortiments, ont servi l'art des constructions en fer, dans la nouvelle voie qu'il suit depuis une dixaine d'années.

L'exposition de l'établissement d'Ars-sur-Moselle donne d'ailleurs une idée très-complète de l'ensemble de cette fabrication, et l'on se demande pourquoi, seule, elle a répondu à l'appel de la ville de Metz.

Les nouvelles conditions économiques qui sont maintenant faites à l'industrie du fer n'expliquent pas, comme on voudrait le faire croire, certaines abstentions. Quelque rude que soit le coup porté à la métallurgie de la Moselle, l'exemple que nous venons de citer démontre que les industriels ne croient pas le

mal sans remède, puisqu'ils ne s'arrêtent pas dans leurs agrandissements.

Nous trouvons cependant dans la carte métallurgique du département de la Moselle, dressée en 1859 par M. Trautmann, que beaucoup d'autres usines du département ne le cèdent en rien à celle d'Ars-sur-Moselle. Ces usines, qui consomment ensemble 700,000 tonnes de houille, n'en trouvent encore, sur le sol français, que 50,000 tonnes environ, provenant de la houille de Schænecken.

Tous les détails de la production minérale et métallurgique de la Moselle sont admirablement groupés dans la carte que nous venons de citer, et qui à elle seule donnerait une idée plus complète de l'importance de la consommation, de la production et des transports de chaque groupe d'usines que l'exposition elle-même. Les représentations graphiques qui servent d'une manière heureuse de complément aux nombreux chiffres que l'auteur a dû citer, permettent de saisir d'un coup d'œil la répartition et le degré d'importance des diverses industries qui y sont comprises.

Sommevoire représente à l'exposition l'industrie des fontes moulées de la Haute-Marne, dans ce qu'elle produit de plus remarquable. Perfection des modèles, légèreté, égalité d'épaisseur, homogénéité parfaite du métal, ajustage soigné des pièces de raccord, rien ne manque à l'exécution de toutes ces pièces, qui appartiennent à un autre groupe d'usines tout aussi intéressant que celui de la Moselle, mais moins tributaire de l'étranger, par cela seul qu'il emploie le combustible végétal dans une proportion plus grande.

Tous les journaux ont parlé du fameux bloc de houille du poids de plusieurs tonnes que l'administration des mines prussiennes a fait voyager à grands frais jusqu'à l'exposition de Metz. Sans doute c'est là un trophée dont le gouvernement voisin peut être fier; mais il ne prouve, à notre point de vue, rien autre chose que la dépendance dans laquelle l'industrie métallurgique de la Moselle se trouve relativement au combustible qui lui est nécessaire; le bloc de Sarrebruck peut être un monolithe très-remarquable, mais il l'est surtout en ce qu'il fait voir que nous achetons fort cher de la mauvaise houille qui ne contient pas moins de 10 à 15 p. 100 de cendres; ajoutons que le coke qui en provient et qui

est livré par le gouvernement prussien à une partie de nos établissements de l'Est, se fait surtout remarquer par son extrême impureté.

Ce n'est pas cependant que ce bassin de Sarrebruck soit sans intérêt : il est, au contraire, le siége d'une exploitation considérable et bien conduite par les ingénieurs de l'État. On voit dans les environs de cette ville d'immenses travaux couronnés de distance en distance par de petites forteresses; c'est au moins l'aspect que les ingénieurs prussiens ont cru devoir donner à toutes leurs constructions industrielles et particulièrement aux bâtiments de leurs machines d'extraction, dont l'architecture semble être pour nous d'un autre siècle.

Plusieurs compagnies, aidées par les coupes géologiques que l'on rencontre dans les tranchées du chemin de Forbach, se sont résolûment mises à l'œuvre pour retrouver en France le prolongement des couches de Sarrebruck; bien que repoussées dans quelques localités par l'abondance des eaux, elles ont ailleurs réussi ou sont sur le point de réussir. M. de Wendel a déjà une exploitation de quelque importance, dont les usines d'Hayange et de Moyœuvre ont grand besoin, et voici que la mine de Carling, sous l'habile direction de M. Pougnet, va bientôt prendre place dans ce grand marché de l'est de la France.

L'importance de cette question nous a engagé à faire une excursion jusqu'à Sultzbach, et nous en avons été grandement dédommagé par la visite que nous avons pu faire des grands établissements créés par la compagnie du chemin de fer de l'Est pour la fabrication du coke nécessaire à sa traction. La houille lui est fournie à pied d'œuvre par l'administration royale, et il ne s'agissait de rien moins que d'alimenter, en fabrication courante, 180 fours à coke d'une capacité chacun de 7 mètres cubes.

Pour une usine de cette importance, il fallait une installation considérable, qui permît de diminuer autant que possible la main d'œuvre, et voici les dispositions qui ont été adoptées, sous la direction de M. Sauvage.

Les waggons amenés au bas d'une rampe, au sortir de la mine, sont remontés par un plan incliné, au moyen d'une machine à vapeur, soulagée dans son travail par le poids des waggons vides, qui doivent faire retour presque immédiatement.

Arrivés au sommet de l'usine, ces waggons sont distribués à l'étage inférieur au moyen d'un grand tablier mobile muni de culbuteurs; le déplacement de ce tablier permet d'amener la houille brute sur tous les points de l'atelier inférieur, qui jusqu'ici n'est pas recouvert d'une toiture.

La houille qu'il a fallu, sans perte de temps, emmaganiser dans cet atelier, est chargée dans le matériel de la compagnie de l'Est, et portée au-dessus des machines à broyer, grands moulins à noix qui ne lui font subir qu'une sorte de concassage, et qui, rangés sur deux lignes parallèles, déversent leurs produits dans les waggons destinés à les porter aux laveurs.

Ces appareils, véritables caisses à déplacement, reçoivent une certaine quantité de houille, puis de l'eau; et au moyen d'un piston qui peut être débrayé à volonté, cette eau en mouvement met le charbon en suspension, le classe par ordre de densité, et permet de recueillir le produit le plus pur, au bout de quelques minutes, à la partie supérieure de chaque caisse.

Les schistes sont ainsi éliminés, ainsi qu'un mélange charbonneux que l'on rejette sous le nom de schlamm, et qui renferme cependant encore 50 à 55 p. 100 de carbone.

Le charbon ainsi recueilli est versé, au sortir de la caisse, dans des waggons placés au niveau du sommet des fours à coke; et de petites voies de fer qui règnent au-dessus de tous les fours permettent le déchargement direct dans chacun d'eux.

Quant au défournement, il se fait à l'aide de repoussoirs qui circulent sur des rails établis entre les fours, et qui se manœuvrent à la main.

A l'exception du premier chargement au magasin, que l'on ne pouvait éviter, dans l'obligation où l'on est de rendre immédiatement à la mine son matériel, on voit que toutes les opérations sont disposées dans un ordre méthodique, et que cette usine est aussi remarquable par la bonne entente de ses dispositions que par son importance.

Le coke qu'elle prépare est bien préférable à celui qui est vendu par l'administration prussienne, mais quelle perte de richesse combustible dans cette transformation cependant nécessaire de la houille en coke!

Réduction en poids à 60 p. 100, torrents de chaleur perdue dans la coction, formation de montagnes de schlamm qui seront

reprises un jour à défaut d'autres combustibles, et que nous délaissons aujourd'hui parce qu'ils ne renferment que la moitié de leur poids de carbone.

C'est là certainement un état transitoire; et, les intérêts individuels aidant, il est impossible que nous assistions pendant longtemps à une pareille destruction de la richesse minérale.

La meilleure utilisation du combustible cru est certainement un des problèmes sociaux les plus importants, et il ne faut pas s'étonner qu'on en poursuive avec ardeur la solution là surtout où la houille est chère, par rapport à son pouvoir calorifique. La houille de Sarrebruck donne beaucoup de fumée; très-friable, on la rencontre souvent à l'état de menu tel que l'on croirait son utilisation bien difficile. De nombreux efforts sont cependant tentés pour en tirer un parti utile, et nulle part plus que dans la Moselle ces efforts n'ont produit de meilleurs résultats.

MM. Karcher et Westermann, maîtres de forges à Ars-sur-Moselle, ont fait fonctionner, pendant toute la durée de l'exposition, une grille à étages, dont nous avons également vu l'application à quelques-uns de leurs fours à réchauffer. Cette grille est celle de M. Langen, de Cologne, et nous la caractériserons en disant que, plus inclinée que les grilles ordinaires de ce genre, elle n'est formée que de trois barreaux très-écartés, présentant chacun une partie horizontale sur laquelle le charbon peut être étalé, et de nombreuses fissures longitudinales et inclinées, par lesquelles l'air arrive au combustible en quantité suffisante, et peut-être en proportion exagérée.

Les plus mauvais menus de Sarrebruck se brûlent sur cette grille, qui est loin d'être fumivore, mais qui constitue, pour l'emploi de ce combustible, un véritable progrès; les schistes et les scories se recueillent, comme dans tous les appareils du même genre, à la partie inférieure, où se trouve une grille horizontale que l'on nettoie deux ou trois fois par jour.

Cette grille de M. Langen rappelle celle que M. Chobrozinski a, pendant longtemps, essaiée au chemin de fer du Nord; la compagnie de l'Est employe également une disposition analogue, réalisée avec quelques modifications par M. Tembrinck. Il nous a été donné de parcourir une portion de la ligne sur la locomotion de M. Tembrinck; le feu était clair, et toute trace de fumée

était généralement effacée, lorsque le tirage était activé d'une manière suffisante par l'échappement.

En présence de ces résultats, nous comprenons qu'au risque de causer quelque gêne aux voyageurs, les compagnies se permettent de faire quelques essais de ce genre en service courant. La grille de M. Tembrinck se compose uniquement d'une face plane, inclinée de 35° sur l'horizontale, et perforée de nombreuses lumières sur toute son étendue. La répartition du combustible sur les grilles à étages permettrait au besoin le nettoyage pendant la marche, et les expériences faites semblent indiquer une économie de 1/6 sur la consommation à égal parcours, dans une pratique prolongée au delà d'une année.

Le type le plus parfait que nous ayons rencontré dans la Moselle est celui qu'a adopté M. Pfetsch pour les chaudières à vapeur des salines de Saint-Nicolas-Varangeville : les barreaux sont tous horizontaux, plus nombreux, et par conséquent plus rapprochés; leur ensemble constitue, du côté du foyer, une surface cylindrique dont la courbure est telle, que le combustible chemine d'autant plus lentement qu'il est plus distillé; jamais on n'introduit le ringard entre les barreaux, et la trémie, qui reçoit le charbon frais à la partie supérieure, a une face mobile à laquelle il suffit d'imprimer, à la main, quelques secousses pour faire descendre uniformément toute la charge, suivant les besoins. Les foyers de M. Pfetsch sont très-remarquables; relativement fumivores, ils sont régulièrement chauffés dans toutes leurs parties, et tous les interstices de la grille présentent l'apparence d'une combustion parfaitement uniforme. On a, dans plusieurs circonstances, abandonné les grilles à gradins, par suite de la fatigue excessive qu'elles infligeaient aux chauffeurs; un seul homme dirige, à Saint-Nicolas, plusieurs des nouveaux foyers de la manière la plus facile.

Ajoutons, à l'égard des résidus du lavage des cokes, qu'ils valent la peine d'être brûlés, et que déjà ils sont utilisés au chauffage d'une chaudière à vapeur dans la verrerie de MM. Chevandier et Vopelius, à Soultzbach.

Comme les mines de Sarrebruck, la saline de Varangeville s'était fait représenter par une immense pyramide de sel, mais les directeurs ont eu le bon esprit d'éviter les embarras de transport en masse d'un pareil bloc; ils l'ont formé avec des fragments

de dimensions réduites. Ce n'est pas cependant qu'ils n'eussent à leur disposition une couche d'une épaisseur suffisante : le onzième banc qu'ils exploitent à une profondeur de 174 mètres, n'a pas moins de 22 mètres d'épaisseur; l'exploitation se fait par des procédés remarquables, et la visite que nous y avons faite nous permettra de donner quelques détails à cet égard.

Pour exploiter cette énorme couche de sel qui s'étend à plusieurs kilomètres de distance, M. Pfetsch, l'habile directeur des travaux, a utilisé, en l'améliorant dans tous ses détails, le procédé dit de sciage à l'eau, déjà employé en Allemagne d'une manière imparfaite.

On sait que, pour exploiter la houille dans les couches les plus puissantes, on isole le plus souvent des piliers au moyen de deux tranchées verticales poussées à 1 ou 2 mètres de distance, et lorsqu'un bloc se trouve de cette manière isolé par trois de ses faces, on le sape par la base, et on le détache à la poudre.

Le procédé de M. Pfetsch est le même, à cela près qu'il n'emploie ni le pic, ni aucun instrument analogue, et que sa consommation de poudre est elle-même diminuée de beaucoup.

Les tranchées se font silencieusement, et sans coup férir, au moyen d'un simple filet d'eau, aménagé d'une manière convenable. Supposons qu'à un mètre de distance, au haut de la paroi d'une galerie, on fasse ainsi couler deux petits filets sur le sel; cette eau s'écoulera le long des parois, en suivant la ligne de plus grande pente, c'est-à-dire qu'elle suivra la verticale, et qu'elle tracera ainsi deux petits sillons que nous pourrons considérer comme une première indication des tranchées à faire. Dès lors, l'eau a fait son lit, on avance un peu les orifices d'écoulement, et la rigole se creuse un peu plus. En suivant ainsi les progrès du creusement, qui se fait par dissolution, on arrive facilement, mais avec du temps, à pénétrer dans la masse jusqu'à 2 mètres, et même, lorsqu'il est nécessaire, jusqu'à 5 mètres de profondeur.

La masse de sel se trouve ainsi divisée en piliers, par des tranchées qu'on croirait faites à la main, et il n'y a plus qu'à les débiter en fragments de grosseur convenable pour les monter au jour.

On exploite, en ce moment, sur une hauteur de 4 mètres environ; un premier coup de feu détache du toit la partie supérieure

du pilier, sur une profondeur de un mètre; puis, par des trous de mine verticaux, on abat successivement le reste du pilier jusqu'au mur de la couche, où le sel n'a aucune adhérence avec la roche sur laquelle il repose.

La mine de Varangeville a, par suite de ce mode d'exploitation, un aspect tout particulier; l'existence du sel indique par elle-même qu'aucune infiltration n'y existe, et que par conséquent le sel est recouvert par des terrains imperméables. S'il en était autrement, depuis la formation des terrains triasiques, l'eau aurait eu le temps de dissoudre le sel, et la formation serait complétement détruite. On ne rencontre donc, dans la mine, d'autre humidité que celle qui résulte des besoins de l'exploitation; et l'eau qui a servi au sciage, saturée de sel dans ses différents parcours, doit être remontée dans l'usine, pour y restituer, à l'état de sel cristallin, tout ce qu'elle a emprunté à la mine; l'exploitation se fait donc sans autre dépense que celle de l'élévation de cette eau et du sel gemme, à 174 mètres de hauteur.

Les galeries étant très-spacieuses, on a pu y disposer des voies de fer sur lesquelles circulent les waggonets qui reçoivent les charges de sel; ces waggonets sont conduits dans une double cage d'extraction à parachute, par laquelle se fait également le service des mineurs. Une machine à vapeur fournit naturellement le travail nécessaire à cette extraction.

Quant à l'eau salée, on utilise pour son élévation au jour une partie de la force motrice rendue disponible par son introduction même dans la mine, au moyen d'une machine à colonne d'eau.

Dans un mémoire inséré dans les *Annales des mines*, 1859, M. Pfetsch a décrit la disposition de cet appareil, et l'on y trouvera la relation des expériences faites, par suite desquelles le rendement de cette machine à colonne d'eau serait d'environ 84 p. 100. Par suite de cette perte, relativement très-faible de 0,16, et de l'augmentation de densité de l'eau à mesure qu'elle se sature de sel, cette eau ne peut être relevée qu'à une hauteur de 80 mètres environ; c'est celle de la quatrième couche de sel, qui est également en exploitation. Recueillie dans un réservoir spécial à cette hauteur, l'eau est ensuite surélevée jusqu'au sol au moyen d'une pompe foulante, commandée d'en haut par une machine motrice. Cette installation est remarquable sous tous les

rapports, et elle nous ramène naturellement à parler des machines de l'exposition.

Bien que, dans la salle qui leur était consacrée, et qui présentait, dans son ensemble, un très-bel aspect, le nombre des machines dépassât le chiffre de 300; bien qu'elles fussent, pour la plupart, d'une bonne fabrication courante, nous n'aurons ici à en citer que quelques-unes, qui nous ont paru particulièrement remarquables. Les machines-outils de M. Decoster, les locomobiles de M. Calla et beaucoup d'autres sont venues à l'exposition de Metz avec les éminentes qualités qu'on leur connaît, mais sans aucun caractère de nouveauté. La machine horizontale de M. Lecouteux, que nous considérons comme la plus belle de l'exposition, tant au point de vue de l'exécution que sous le rapport de l'économie du combustible, n'est elle-même, dans tous ses détails, qu'une belle copie des machines de M. Farcot; c'est elle qui a fourni la force motrice aux appareils en mouvement, pendant toute la durée de l'exposition.

L'exposition de M. Quillacq est plus variée. On sait que ce constructeur, établi à Anzin, s'est adonné surtout à la construction des machines d'extraction. Sa grande machine horizontale, à deux cylindres, avec frein à vapeur, sonnerie et système d'arrêt pour la cage, est d'une disposition excellente. Elle est indiquée pour une force nominale de 150 chevaux, et, dans ce cas, certaines parties seraient sans doute un peu faibles. L'ensemble de cette machine représente certainement le meilleur type des machines d'extraction, mais l'exécution est courante : nous préférons, sous ce rapport, une petite machine horizontale de 15 chevaux, d'un travail soigné, qui, parmi quelques dispositions nouvelles, présente cet avantage de pouvoir faire varier l'admission à la main, sans changer pour cela l'étendue de la période que les mécaniciens désignent sous le nom d'avance. La nécessité de cette avance ne dépendant, pour une même machine, que de la vitesse à laquelle elle fonctionne, on comprend qu'il soit avantageux, quand la vitesse est réglée, comme pour les machines de mines, que cette avance soit constante, quelle que soit la puissance avec laquelle la machine doive momentanément fonctionner. Ce résultat est d'ailleurs obtenu par une disposition d'excentrique très-simple et qui complète le mécanisme.

Nous avons entendu des opinions très-différentes sur la grue à vapeur de M. Quillacq, qui est bien groupée, et dans laquelle la chaudière, formée d'un cylindre vertical, est attenante à l'appareil et en constitue le contre-poids. Bien que cette disposition ne soit peut-être pas très-heureuse lorsque la grue fonctionne dans le voisinage d'une chaudière à vapeur, elle nous a paru cependant produire une grande économie de main-d'œuvre, en ce que le service de la grue peut être fait par le chauffeur.

L'appareil fonctionne d'ailleurs très-bien ; il réduit, dans une grande proportion, la dépense ordinaire du chargement, et il est exécuté dans toutes ses parties avec une grande perfection. La grue de M Quillacq est employée couramment à Anzin pour le chargement des houilles; elle peut porter 3,000 kilogrammes, et sa volée est de 2,50.

Parmi les machines-outils, nous n'aurons à citer que celles de M. Reyz, de Strasbourg, qui, exposant pour la première fois, a eu le bon esprit de n'apporter que des créations originales, dénotant une grande habileté dans ce genre de construction.

Les machines à faire les écrous et les têtes de boulons de ce constructeur sont certainement plus *habiles* et mieux disposées qu'aucune des machines analogues.

Le tour à chariot, auquel il donne, par la combinaison des différents mouvements, qu'il rend à volonté solidaires ou indépendants, des propriétés plus étendues que celles des tours ordinaires, dénote, malgré la complication qui en résulte, une très-bonne entente des nécessités du travail et un esprit très-inventif.

La question des scies portatives est toujours l'objet de nouvelles tentatives.

La petite scie de M. Frey, construite entièrement en fer, est ingénieusement disposée : l'emploi des fers à double T pour les bâtis donne, tout à la fois, à cette machine, la rigidité et la légèreté convenables; elle peut opérer sur des pièces de 0,40 sur 0,40, et de 4 mètres de longueur. Il est fâcheux que la locomobile attachée à cet appareil ne fût pas de la force convenable pour la faire fonctionner d'une manière régulière, car pour l'exploitation en forêt, dans les Vosges, on ne saurait imaginer une disposition meilleure.

La scie soi-disant locomobile de M. Cart est certainement

très-bien construite dans toutes ses parties ; commandée par une forte machine de M. Gilmer, elle fonctionne très-bien ; mais elle est d'un transport difficile, pour ne pas dire impossible, en forêt. Débarrassée de ses roues et établie à poste fixe, elle constituerait, comme toutes les scies de M. Cart, une excellente machine.

Le travail du bois par machines se répand avec rapidité dans toutes les villes manufacturières et dans les expositions. Ces appareils, qui font si prestement une moulure, sont toujours l'objet d'une attentive curiosité ; la scie à ruban de M. Périn, son outil rotatif à moulures, ses machines à faire les tenons et les mortaises, n'ont plus aujourd'hui pour nous l'attrait de la nouveauté. Elles se montrent à toutes nos expositions des départements, et nous devons féliciter l'inventeur d'avoir su, par ce moyen, leur donner une publicité qu'il n'aurait pu obtenir avec la même efficacité par d'autres moyens.

D'autres machines à faire les tenons étaient aussi exposées : plus simples et d'un prix moins élevé, elles pouvaient, à tous les titres, soutenir la comparaison avec celles de M. Périn. Mais, quel que soit l'intérêt que les machines à bois puissent exciter à l'exposition, cet intérêt disparaît de tout point, lorsque, comme nous, on a pu visiter les magnifiques ateliers de la compagnie de l'Est à Montigny-sur-Moselle. Ces ateliers, plus spécialement consacrés à la construction des waggons, ont été placés à dessein à proximité des lieux de production. Dirigés par M. Dietz, qui a, qu'on nous permette cette expression, le feu sacré, ils renferment les machines les plus ingénieuses et les plus nouvelles pour façonner les bois sous toutes les formes. Tous les tracés sont faits sur gabarits, et les ouvriers n'ont plus qu'à présenter les pièces aux outils, pour que les entailles soient faites partout où il est nécessaire, pour que les tenons se forment sous l'action de lames animées d'un mouvement de rotation : l'économie de la main-d'œuvre dépasse de bien loin la moitié de la dépense anciennne de la construction d'un waggon.

Plus heureux que chez MM. Dupont et Dreyfus, nous avons pu voir fonctionner le rabot à quatre lames rotatives qui dresse à la fois une pièce de bois sur quatre faces, jusqu'à un équarrissage de 40 centimètres. Pour le bois, comme pour le fer, le procédé est à peu près le même, si ce n'est que les cylindres n'agissent plus ici

par pression, et qu'ils sont armés de lames en hélice qui tournent pendant le passage de la pièce avec une très-grande vélocité.

Les lames sont courtes, d'un remplacement et d'un affûtage facile; leur tranchant, dont tous les points sont à égale distance de l'axe de rotation, n'attaque à la fois qu'un seul point; mais le point de contact, en se déplaçant sur toute la largeur de la pièce, assure sa planimétrie, sans laisser aucune trace de reprise. Le premier cylindre attaque la face inférieure de la pièce de charpente, parfaitement guidée dans son mouvement de translation; à quelques centimètres plus loin, un cylindre vertical rabote l'un des côtés, puis les deux autres cylindres opèrent, à leur tour, de la même façon.

La machine qui fonctionne aujourd'hui est construite en bois; M. Dietz se propose d'en construire le bâti en métal, et il aura ainsi créé un outil d'une puissance inouïe, destiné à prendre rang dans tous les grands ateliers de construction.

Les plaques de bordages pétries entre quatre cylindres à la fois pendant que le fer est encore malléable, les pièces de charpente dressées sur toutes leurs faces, simultanément et avec un mouvement de transport qui dépasse un mètre par minute, ce sont là, bien assurément, des faits qui seront féconds en résultats, et qui laissent dès à présent à penser ce que deviendront en France, et avant la fin de ce siècle, ces machines-outils qui faisaient, il y a quarante ans, leur entrée sur notre sol avec un passe-port anglais.

Puisque nous parlons de M. Dietz, disons qu'il a mis à l'exposition sa boîte à huile, exclusivement employée au chemin de l'Est, qui fait à Montigny l'objet d'une véritable fabrication, et qui a déjà été tirée à 15,000 exemplaires pour la Russie, à 5,000 pour l'Espagne, etc.

Nous avons vu dans le même atelier, où les déchets de bois sont en abondance, plusieurs foyers de M. Kraft, sortes d'entonnoirs, dans lesquels les copeaux, les sciures, les éclats sont indifféremment jetés; ils y brûlent complétement et projettent latéralement leurs flammes sous les bouilleurs d'une chaudière à vapeur. La même disposition a été adoptée par M. le colonel Renoux, directeur de l'arsenal du génie à Metz : il a bien voulu nous promettre quelques indications sur la quantité de vapeur pro-

duite par chaque kilogramme de ce combustible, jusqu'alors perdu.

La création des grandes usines de charronnerie donne à cette question une certaine importance.

En passant en revue les machines les plus importantes de l'exposition, il nous est impossible de ne pas dire un mot des nouveaux appareils à distiller de M. Kessler, qui a trouvé, chez M. Robinet, chaudronnier à Metz, un interprète fort habile pour la réalisation pratique de son invention.

L'appareil de M. Kessler est du système Celliez Blumenthal; mais il offre, dans sa construction, de sérieux avantages de simplicité et de fonctionnement que nous regrettons de ne pouvoir faire comprendre sans figure et qui se traduisent à la fois par une notable diminution des pertes par les joints, en plus petit nombre, et par un abaissement de prix de revient tel que le modèle exposé, qui peut produire 100 hectolitres en 24 heures, ne coûte que 1,500 fr.

Les diverses sections du jury ont eu à examiner les produits très-variés de l'exposition de M. Kessler, qui met avec un rare bonheur ses connaissances scientifiques au service des applications industrielles. On sait avec quelle ardeur cet habile chimiste a cherché à faire prévaloir ses tables à déplacement pour l'épuisement de la pulpe de betterave, et on doit féliciter l'industrie de la distillerie, si développée dans le département de la Moselle, de pouvoir profiter des conseils et des travaux d'un homme aussi expérimenté.

Nous ne partageons pas, pour les tables de déplacement de M. Kessler, ce que nous serions presque tenté d'appeler les illusions de l'inventeur; mais nous avons vu avec le plus grand intérêt son petit appareil à faire le vide, qu'il appelle une trompe aspirante, parce que le mode d'écoulement d'une certaine quantité d'eau est disposé de telle sorte que cette eau entraîne avec elle l'air ou les vapeurs contenues dans une capacité où l'on veut faire le vide.

Pour obtenir cet effet, il a suffi à M. Kessler de limiter l'introduction de l'eau dans une proportion suffisante, pour que cette eau ne puisse, en s'écoulant, et eu égard à la vitesse qu'elle tend à prendre d'après la chute dont on dispose, remplir en son entier le tube vertical dans lequel elle circule.

Si, dans ces conditions, le tuyau est mis latéralement en communication avec une capacité remplie d'air, cet air se précipitera dans le tube, et entraîné avec l'eau elle-même, il sera conduit au dehors.

Dans une expérience que M. Kessler a faite devant nous avec l'un des éléments de son appareil, sur un rempart de Metz, le tuyau d'écoulement avait 10 mètres de longueur, et le vide s'est produit jusqu'à un quart d'atmosphère dans une capacité de 2 litres, en dépensant seulement un volume d'eau de 2 litres et demi. Si ces indications étaient vérifiées par la pratique, l'effet utile d'une pareille machine serait encore de 65 pour 100; mais la hauteur de 10 mètres serait dans tous les cas insuffisante pour obtenir une raréfaction plus complète, ce qui aurait eu lieu si la longueur du tuyau avait pu être portée à 12 mètres.

Les phénomènes relatifs aux succions latérales dues à l'écoulement des fluides, les effets produits par des colonnes mélangées de liquide et de fluide élastique, ont, dans ces dernières années, donné lieu à plusieurs essais d'application. Aucun d'eux ne nous a paru avoir l'importance des essais de M. Kessler. L'appareil complet de l'exposition, composé de 12 tubes qui n'occupent pas en totalité un espace d'un demi-mètre cube, a suffi industriellement à maintenir le vide dans une cornue à acide sulfurique, d'une capacité de 1,500 litres. A en juger par ces résultats, la trompe aspirante pourrait devenir d'un emploi sérieusement utile.

Les machines agricoles étaient à Metz au grand complet, et réunies dans le magnifique jardin de l'Esplanade, tout auprès de l'emplacement où nous avons vu fonctionner la trompe de M. Kessler. Nous n'avons aperçu, dans cette galerie, que les machines ordinaires des concours agricoles, et nous n'aurons guère à citer, parmi cette immense collection, que la machine à presser le foin de M. le général Morin, dans le but de rendre moins encombrant le transport des fourrages. Nous aurons l'occasion de donner une autre fois un dessin de cette presse, lorsque nous pourrons y joindre quelques résultats d'expériences.

L'attention des agriculteurs s'est surtout concentrée sur les expériences de Frescati, où l'on devait, pour la première fois, faire fonctionner l'une des machines à labourer, système Fowler, que le gouvernement a commandées l'an dernier à M. le comte de Baulnie, à la suite du concours général d'agriculture.

Les charrues, construites chez M. de Meixmoron-Dombasle, sont presque semblables à celles que nous avons vues fonctionner à Villiers, en 1856; mais la machine locomobile et les engins qui servent à amarrer les câbles ont été l'objet d'améliorations remarquables, dues à M. Dickoff de Bar-le-Duc.

Les essais ont bien réussi, malgré la sécheresse prolongée qui avait durci d'une manière exceptionnelle le terrain, déjà très-résistant par lui-même. Nous avons surtout remarqué que le travail se continuait avec régularité dans une dépression de plus d'un mètre que présentait le champ d'expériences, et qui était réparti en pente sur une longueur qui ne dépassait pas 40 mètres.

On estime que toute pièce de terre de 20 hectares, à pente légère et uniforme, pourrait être économiquement labourée par la machine. Cette étendue est nécessaire pour indemniser des frais généraux d'installation, et le travail total pourrait être terminé en moins de trois jours.

L'avenir élargira sans doute cette sphère d'action de la machine à labourer de M. Fowler, déjà si perfectionnée aujourd'hui.

Si, après cette excursion, nous rentrons dans la galerie principale de l'exposition, nous rencontrons tout d'abord les produits de Sarreguemines et de Saint-Louis.

La céramique et la verrerie jouent, comme on sait, un grand rôle dans l'éclat de toutes les expositions; celle de Metz devait offrir cette particularité que la région de l'Est de la France pouvait fournir un grand nombre d'objets remarquables. Les départements de la Moselle et de la Meurthe sont en effet richement dotés pour les bois, et cette circonstance a concentré, dans ces deux départements, un nombre considérable d'industries pour lesquelles le bois a été tout d'abord le combustible employé. Une grande activité règne dans les fabriques de verres et de cristaux. La fabrication des produits céramiques, en rangeant dans ce groupe toutes les matières en terre cuite, depuis les tuiles et les carreaux jusqu'aux porcelaines les plus éclatantes, y est très-prospère.

Des produits remarquables venus de la Belgique, de la Prusse, de l'Allemagne et de la Bohême se sont présentés en concurrence avec les produits similaires français.

La manufacture de Saint-Louis avait disposé, d'une manière fort élégante et fort coquette, les nombreux spécimens qu'elle a

produits depuis vingt ans. Cristaux blancs unis et gravés, simples, monochromes ou doublés, verres triplés à tailles creuses, cristaux dépolis pour garnitures de cheminées ou éclairage, peintures sur cristaux, lustrerie, verres garnis de bronzes, unis, peints sur la surface ou teints dans la masse, rien ne manquait pour ajouter à la variété de cette exposition, qui rappelait celle de 1855 à Paris.

Au milieu des cristaux unis et bien taillés, on remarque les cristaux colorés en rouge de moufle par l'oxyde de cuivre, et les verres colorés par le chlorure d'argent, dont les nuances sont si variées. On imite de la sorte des marbrures et des agates de nuances qu'il est impossible de confondre avec les tons obtenus des fonds de pots colorés par l'oxyde de cuivre. C'est à Saint-Louis qu'on doit la reproduction des verres triplés ou doublés dans lesquels l'émail blanc opaque (stannifère) joue un rôle important.

Depuis 1767, que cet établissement est créé sous le nom de *verreries royales de France*, il n'a cessé de faire progresser l'art de la verrerie, et ses directeurs ont bien mérité des amis des arts. La tâche était difficile surtout pour les derniers, MM. Ceiler et Marcus, qui se trouvaient en présence de progrès réalisés et très-considérables.

Les améliorations dues aux travaux des usines de Baccarat et de Saint-Louis ont grandement contribué au développement de la gobeleterie; les formes élégantes, empruntées au cristal, ont passé dans le domaine du verre proprement dit, et des établissements importants se sont créés pour fournir les tables trop pauvres pour se donner le luxe des cristaux plombeux. Valerysthal, qui n'a pas exposé, s'est parfaitement posé, tant pour les verres blancs unis et taillés que pour les verres de couleur à l'instar des verres de Bohême. Une manufacture de premier ordre, celle de M. Burgun-Schverer et Cie, à Meysenthal, a exposé des objets variés provenant d'une fabrication courante et à bon marché. Cette verrerie étend tous les jours ses débouchés en exécutant les mêmes articles que ceux qu'on demande aux fabricants de cristaux.

La Bohême avait envoyé d'ailleurs une série bien remarquable d'objets de toute sorte, doublés, taillés et gravés. Une seule maison cependant avait été représentée; les successeurs de Pélikan,

à Ulrischsthal, ont adressé de très-beaux spécimens de verres rubis taillés et gravés tels que coupes, vases, urnes, etc. On connaît les verres de Bohême; et, si l'on excepte quelques pièces d'un goût assez équivoque, on trouve, dans cette fabrication, eu égard surtout au prix de vente, un brillant et un éclat qui séduisent au premier abord.

La ville de Metz a fait à la manufacture de Sarreguemines un accueil princier. Nous devons dire de suite que la place d'honneur réservée dans le centre du transept était parfaitement occupée. Aucun exposant n'a paru, aucun exposant n'aurait pu paraître avec un assortiment de pièces plus complet et plus varié. — Porcelaines fines, blanches et décorées, imprimées ou peintes à la main; faïences fines, pour service de table, blanches ou imprimées sous glaçure, grès fins, paros, imitation de porphyre avec garnitures de bronze, poteries vernissées à l'usage des classes pauvres, tout ce que la céramique peut faire, sauf toutefois la porcelaine dure, la manufacture de Sarreguemines le produit, et elle le produit avec perfection, économie et rapidité.

Le traité de commerce avec l'Angleterre a forcé les directeurs de cette manufacture à doubler leurs moyens de production, et M. le baron de Geiger a déclaré qu'il entendait bien ne pas céder devant la concurrence étrangère.

Nous ne terminerons pas cette notice sans mentionner encore un nouveau venu dans la céramique artistique.

On sait la faveur avec laquelle ont été accueillies à Paris, en 1855, les faïences genre italien de M. le marquis de Ginori, et les faïences de l'époque de Nevers et de Rouen, exposées à la même époque par Ristori de Nevers. Des efforts inouïs ont été faits pour reproduire les chefs-d'œuvre entassés dans nos collections publiques; la réputation d'Avisseau de Tours a séduit bien des potiers, et plus d'un a voulu faire revivre Bernard Palissy, notre potier national, et Lucca della Robbia; au premier rang parmi les plus habiles, il faut placer aujourd'hui M. Jean, dont l'exposition à Metz nous a paru des plus remarquables.

La peinture sur faïence opaque, terre rouge, recouverte d'une glaçure blanche, opacifiée par l'oxyde d'étain, présente de grandes difficultés. M. Jean paraît les avoir surmontées toutes; non-seulement il décore des plats et des assiettes, des tasses et leurs

soucoupes, objets de petites dimensions, mais il établit des vases, des coupes et des buires gigantesques. On a pu remarquer un grand vase faïence fond bleu en cinq morceaux, réunis sans bronzes apparents, décoré de camaïeux blancs avec reflets jaunâtres. Cette pièce, du prix de 1,000 francs, est irréprochable. Elle a surtout le mérite de n'être pas un pastiche et de représenter la valeur de la faïence artistique au dix-neuvième siècle. Nous en dirons autant d'une foule de coupes et de vases plus petits, d'une coupe entre autres du prix de 400 francs, dont la réussite est parfaite.

Un potier de terre des environs de Toul, M. Aubry, se distingue par la grande dimension des objets qu'il peut fabriquer à des prix très-bas. Nous avons remarqué l'éclat et le brillant des fonds bleu-clair de toutes les pièces exposées. De hautes potiches formes chinoises, de nombreux tabourets de jardin, parfaitement exécutés et du prix modeste de 20 francs, témoignent chez cet industriel d'une grande habileté.

Quelques pièces recouvertes d'une glaçure opaque colorée par l'oxydule de cuivre, en un rouge qui rappelle les tons flammés de Chine, indiquent la connaissance de tours de main particuliers qui nous semblent être des secrets de cette fabrique.

La manufacture de Mettlach, par galanterie sans doute pour la fabrique de Sarreguemines, n'a pas envoyé ses faïences et ses grès; mais elle a cru pouvoir, sans faire tort à sa rivale, exposer les magnifiques statuettes en terre cuite qu'elle destine à l'ornementation extérieure et intérieure des monuments religieux; tout le monde s'est arrêté devant la Vierge et les saints fabriqués par MM. Villeroy et Boch.

La compagnie des terres plastiques et réfractaires d'Andennes a présenté de magnifiques échantillons de briques, carreaux, cornues à gaz, alambics, serpentins, etc., appareils pour hauts fourneaux, vases en grès pour acide nitrique, bonbonnes, tous produits très-remarquables par leur perfection et la dureté de la pâte.

Nous nous étions proposé, dans cette notice, de donner quelques aperçus sur les faits les plus saillants de l'exposition de Metz. Beaucoup d'autres détails mériteraient d'être signalés; nous nous bornerons à en citer quelques-uns.

M. Coanet de Sarrable (Moselle) a créé dans ce département une fabrication considérable de ces chapeaux Panama que tout

le monde porte aujourd'hui, et qui a cela de particulier, que la matière première est elle-même française; M. Coanet la fait venir de l'Algérie, dont les bananiers fournissent réellement des brins plus blancs, plus légers et plus solides que ceux des véritables chapeaux que l'Amérique nous envoie.

La coutellerie de Nogent (Haute-Marne) tient à honneur de se faire représenter dans toutes les expositions; par la perfection de ses produits, par le goût qui les distingue, il nous paraît, dès à présent, certain qu'elle n'aura pas à regretter les résultats de la comparaison à laquelle donnera lieu l'exposition universelle de Londres avec les produits de Scheffield. Combien d'articles de coutellerie, fabriqués à Nogent pour l'Angleterre, nous reviennent en France avec cette désignation pompeuse de coutellerie anglaise!

Enfin nous citerons encore comme produits des industries de la Moselle ou des départements limitrophes, les peluches de Sarreguemines, les coffres forts de M. Haffner frères, de la même ville, les cloches de M. Goussel de Metz, les bronzes d'art de M. Daubrée, de Nancy, la ganterie de M. Mary-Morel, la bijouterie de M. Vevel, les imageries de M. Gaugel, et les nombreux produits de tannerie et de brosserie, qui constituent pour le département des industries importantes, etc., etc.

Au risque d'être taxé d'incompétence, nous ne quitterons pas l'exposition de Metz sans dire un mot des magnifiques vitraux de M. Maréchal; mais que les artistes se rassurent, nous parlerons moins de son mérite artistique que de son mérite industriel. Nous avons rencontré les produits de M. Maréchal, comme verrier, dans toutes les grandes luttes industrielles; à Londres et à Paris, il a toujours été au premier rang; et, en nous permettant de rappeler ici les succès obtenus par M. Maréchal partout ailleurs qu'à Metz, où il a développé sa belle industrie, nous ne faisons que payer une dette de reconnaissance, pour l'accueil que nous y avons reçu de la part de la commission générale de l'exposition. M. Maréchal, le peintre, est le proche parent de M. Maréchal, maire de Metz et président de la commission de l'exposition.

Paris. — Imprimerie P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.

DOUZE LEÇONS

SUR

L'ART DE LA VERRERIE.

PAR M. E. PELIGOT.

Plusieurs acides minéraux, notamment les acides silicique, phosphorique et borique, donnent, en se combinant avec quelques oxydes métalliques fusibles, tels que la potasse, la soude, les oxydes de plomb et de bismuth, des substances dures et cassantes à la température ordinaire, liquides ou molles à une température plus ou moins élevée, transparentes ou translucides, présentant une cassure particulière, lisse et brillante, qu'on appelle *cassure vitreuse*. Ces corps sont désignés sous le nom générique de *verres*[1].

Dans le langage ordinaire, le verre est le résultat de la combinaison de l'acide silicique (la silice) avec plusieurs des bases suivantes : potasse, soude, chaux, oxyde de plomb, alumine, oxyde de fer.

On distingue plusieurs espèces de verres, eu égard à leur mode de fabrication, à leurs usages et à leur composition.

1. En publiant ces leçons, auxquelles j'ai donné, dans quelques parties, un développement que ne comporte pas l'enseignement oral, je cède au désir qui m'a souvent été exprimé par mes auditeurs. Je ne me fais pas illusion sur les imperfections qu'elles présentent : mais j'ai espéré qu'on me tiendrait compte des difficultés qu'on éprouve à rassembler des documents un peu étendus sur l'industrie verrière, industrie qui vit par la tradition, qui évite la publicité, et sur laquelle, si l'on excepte les articles des Encyclopédies et des Traités de chimie, aucun travail d'ensemble n'a été fait depuis plus d'un siècle et demi.

Le *verre de Bohême*, qui sert en Allemagne à fabriquer la gobeleterie fine et la gobeleterie commune, est un silicate à base de potasse et de chaux. Il renferme, en outre, comme toutes les autres sortes de verre, une petite quantité d'alumine et d'oxyde de fer empruntée soit au creuset dans lequel il a été fondu, soit aux matières plus ou moins purifiées qu'on a employées pour le produire.

Dans notre verre à gobeleterie, la potasse est remplacée par la soude, dont le prix est moins élevé.

Le *verre à vitre* est pareillement formé de silicates à base de soude et de chaux.

Il en est de même du *verre à glace*.

Le *verre à bouteille* contient, avec la silice, de la soude ou de la potasse, de la chaux, de l'alumine et de l'oxyde de fer.

Le *cristal* est un verre à base d'oxyde de plomb et de potasse. En Allemagne, on désigne toutefois sous ce nom le verre de Bohême servant à fabriquer la gobeleterie de luxe.

Le *flint-glass*, sorte de verre dense pour l'optique, et le *strass*, qui sert à imiter le diamant et les pierres précieuses, renferment, dans des proportions différentes, les mêmes éléments que le cristal.

Les *émaux* renferment en outre de l'oxyde d'étain ou de l'acide arsénieux, qui leur donnent l'opacité qui les distingue des autres sortes de verres.

Les *verres colorés* empruntent leur coloration, qu'on peut varier à l'infini, à divers oxydes métalliques, à quelques métaux, au charbon ou au soufre.

Les verres, quelle que soit leur nature, ont tous un élément commun, la silice. La proportion de ce corps varie entre 80 et 30 pour 100 de leur poids.

La silice est également l'élément essentiel des divers produits céramiques, dont les usages se rapprochent souvent beaucoup de ceux des produits de l'industrie du verre; mais les procédés de fabrication sont fort différents : tandis que les verres ont tous été travaillés à l'état pâteux, après avoir été complétement liquéfiés par l'action de la chaleur, les poteries, qui ont pour élément essentiel l'argile plus ou moins pure, plus ou moins plastique, reçoivent leurs formes à la température ordinaire; soumises à la cuisson, elles ne changent pas de forme, tout en

éprouvant un retrait considérable et en acquérant une certaine dureté. Dans cet état, elles sont, en général, plus ou moins perméables aux liquides. C'est par la fusion d'un véritable verre à leur surface, à l'aide d'une nouvelle cuisson, qu'on leur enlève cette perméabilité. Les laitiers, les scories qui se produisent dans l'industrie métallurgique, appartiennent par leur composition à la classe des matières vitreuses.

Le rôle essentiel que joue la silice dans l'industrie du verre m'oblige à rappeler sommairement ses principales propriétés.

L'acide silicique ou la silice se présente tantôt à l'état cristallisé, comme dans le quartz ou le cristal de roche, tantôt à l'état cristallin, comme dans le grès et le sable quartzeux, tantôt à l'état amorphe. C'est une des substances naturelles les plus abondantes, soit à l'état libre, soit à l'état de combinaison avec les différentes bases. Elle est insoluble dans l'eau; néanmoins, prise à l'état naissant, c'est-à-dire séparée par un acide d'une dissolution étendue de silicate alcalin, elle reste dissoute dans le liquide, à la faveur de l'acide en excès qu'il contient. La plupart des eaux naturelles en renferment une petite quantité, quelques-unes une proportion assez considérable. Les eaux des Geisers d'Islande, qui sortent de terre à la température de 100°, laissent en s'évaporant des dépôts de silice cristallisée que les minéralogistes désignent sous le nom de *geysérite*. C'est sous cette forme ou plutôt sous celle de silicate alcalin que la silice s'introduit dans les plantes; répartie inégalement dans les différentes parties des végétaux, elle entre pour une forte part dans le poids des substances minérales que fournit leur incinération; les cendres des tiges des graminées en contiennent une forte proportion. Ainsi celles de la paille du froment contiennent 67 de silice; celles de la canne à sucre 68 pour 100[1]. En évaporant à siccité, en présence d'un acide, le liquide qui renferme la silice en dissolution, celle-ci devient entièrement insoluble par suite d'une légère calcination. C'est ainsi qu'on procède pour doser ce corps lorsqu'on fait l'analyse d'un silicate. Celui-ci est fondu avec trois à quatre fois son poids de carbonate de soude, puis décomposé par l'acide chlorhydrique étendu d'eau; on évapore la liqueur à

1. Ces cendres, qui contiennent, en outre, pour 100 parties 22 de potasse et 10 de chaux, fondues sans addition, donneraient du verre. (Berthier.)

siccité. Le résidu, repris par l'eau et l'acide, fournit toute la silice à l'état insoluble.

La silice résiste à l'action de la plupart des agents chimiques. Seul, parmi les acides, l'acide fluorhydrique la décompose. Aussi les verres, les poteries, tous les silicates sont attaqués, corrodés, dissous quand on les met en contact avec cet acide : la silice disparaît totalement, puisqu'en présence de l'acide flurohydrique elle donne naissance à de l'eau et à un corps gazeux, le fluorure de silicium. Cet acide est souvent employé pour analyser les silicates.

Pour fondre la silice, il faut disposer d'une température beaucoup plus élevée que celle qu'on peut produire dans nos forges et dans nos fourneaux les mieux construits. On peut donc ranger ce corps au nombre des substances infusibles. Néanmoins cette infusibilité n'est que relative; la chaleur énorme qui résulte de la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène a permis à M. Gaudin de fondre cette substance au moyen du chalumeau à gaz, d'étirer en fils le grès de nos pavés, de constater même la volatilité de ce corps qu'on croyait être fixe et réfractaire par excellence.

Les silicates alcalins dissous dans l'eau sont décomposés par tous les acides, même par l'acide carbonique; mais si l'acide silicique, soumis aux procédés de la *voie humide*, est un des acides les plus faibles, il devient l'un des plus puissants quand on met en œuvre les procédés de la *voie sèche*. Il décompose, il déplace tous les acides volatils à des températures plus ou moins élevées. Les sulfates eux-mêmes sont ainsi transformés en silicates sous l'influence d'un feu violent.

Par la voie sèche, la silice se combine avec toutes les bases: celles qui sont fusibles lui communiquent la propriété de donner des composés fusibles, vitreux, d'autant plus fusibles que la base est en proportion plus considérable. Tels sont les silicates de potasse, de soude, de plomb. Les bases infusibles, comme la chaux, la magnésie, l'alumine, donnent des silicates infusibles: mais ceux-ci mélangés avec les silicates de potasse, de soude ou de plomb, fournissent des produits qui fondent aux températures qui conviennent le mieux pour le travail du verrier : ce sont ces mélanges qui constituent les verres proprement dits.

Il y a d'ailleurs une importante remarque à faire en ce qui

concerne la fusibilité des silicates multiples. Si l'on chauffe un mélange de deux silicates qui, pris séparément, sont infusibles, on obtient un produit fusible, un verre. Je mets sous vos yeux une belle glace fabriquée à titre d'essai et d'étude dans la glacerie de Saint-Gobain, avec un mélange de sable, de chaux éteinte et de carbonate de baryte. Soumise à l'analyse, elle a donné la composition suivante :

Silice	46.5
Baryte	47.2
Soude	6.3
	100.0

Elle provient donc d'un mélange ou d'une combinaison parfaitement fusible de deux silicates qui, étant pris séparément, auraient fourni des composés entièrement réfractaires.

Ces faits ont pour le verrier une grande signification. Ils lui montrent la nécessité d'introduire plusieurs bases dans sa *composition*. On désigne sous ce nom le mélange des matières premières qui servent à faire le verre. Ils font voir que, pour produire un verre aussi bon marché que possible, exigeant le moins de combustible, comme le verre à bouteille, il convient d'associer un grand nombre de bases, la potasse, la soude, la chaux, la magnésie, l'alumine et l'oxyde de fer.

D'un autre côté, quand il s'agit de fabriquer les produits les plus réfractaires, tels que les briques destinées à construire les fours, les creusets dans lesquels le verre doit être fondu, le choix des silicates simples est d'une extrême importance : ainsi les argiles réfractaires doivent être formées de silice et d'alumine, aussi exemptes que possible, non-seulement d'alcalis, mais de chaux et d'oxyde de fer.

Nous venons d'établir que les verres sont toujours des silicates à plusieurs bases. Doit-on les envisager comme des mélanges ou bien comme des combinaisons? cela dépend évidemment des proportions dans lesquelles les éléments se trouvent associés. Mais doit-on chercher à unir les bases avec la silice dans des rapports atomiques, de manière à produire de préférence des combinaisons? A mon avis, on doit chercher à éviter les rapports atomiques. Les silicates définis, notamment le silicate de chaux, sont cristallisables. Heureusement, ceux de potasse, de soude et de

plomb ne le sont pas et s'opposent même à la cristallisation des silicates terreux avec lesquels ils sont mélangés ou combinés. Cette propriété est fort importante, car c'est sur elle que repose tout le travail du verre. Dans quelques cas particuliers seulement on voit apparaître la cristallisation; elle implique la production de composés chimiques définis. Ce phénomène, qu'on cherche à éviter, est connu des verriers sous le nom de *dévitrification*. Nous y reviendrons.

Une fois fondus à la température du rouge blanc, les silicates multiples qui donnent naissance aux verres, tout en offrant une grande dureté quand ils sont refroidis, acquièrent au rouge cerise, par un abaissement de température gradué, une très-grande plasticité : de l'état liquide, ils passent à l'état solide en prenant tous les degrés intermédiaires de mollesse. Aussi, de même que la cire sous la main du modeleur, le verre reçoit et conserve toutes les formes qu'on lui donne. Par le soufflage, on en fait des cylindres, des ballons, des objets de gobeleterie de toute nature; le laminage le transforme en feuilles qui servent à faire les glaces; on le met au moule pour fabriquer les bouteilles; on en fait des tubes qui, ramollis à la lampe d'émailleur, donnent des fils d'une finesse extrême, qu'on travaille comme le le lin et la soie, et dont on a fait des aigrettes, de brillants tissus et même des perruques.

SILICATES SIMPLES. VERRES SOLUBLES.

Avant d'entrer dans les détails de la fabrication des différents verres, nous étudierons leurs propriétés générales, et particulièment l'action que la chaleur, l'eau et les agents chimiques exercent sur eux.

On recherche dans le verre, comme qualités essentielles, la transparence, une parfaite limpidité, et l'absence de toute coloration pour le verre blanc. Ceux qui proviennent d'une bonne fabrication résistent, en outre, à l'humidité, à l'eau froide, à l'eau bouillante, aux acides (sauf à l'acide fluorhydrique), aux dissolutions alcalines. L'expérience, d'accord avec la théorie, démontre que les verres les plus durs, les moins fusibles, ceux qui, par conséquent, contiennent le plus de silice et le moins de fondants alcalins, remplissent le mieux ces diverses condi-

tions. Malheureusement leur prix de revient est en raison directe de leur qualité, car leur fusion et leur travail exigent une plus grande quantité de combustible.

Les verres riches en fondants sont attaquables par l'eau. On désigne sous le nom de *verres solubles*, les silicates simples de potasse ou de soude plus ou moins riches en alcalis. Comme la connaissance de leurs propriétés explique parfaitement celles de certaines espèces de verres, je dirai quelques mots de ces composés, qui ont donné lieu, d'ailleurs, depuis quelques années, à des applications industrielles dignes d'intérêt.

Un mélange de 1 partie de silice (sable) et de 5 parties de carbonate de potasse fond facilement au rouge cerise. La temrature du rouge blanc est nécessaire pour obtenir le même résultat avec 3 parties de silice et 1 partie de carbonate de potasse; 5 parties de silice et 1 de carbonate alcalin donnent un mélange non fusible, qui se fritte seulement quand on le soumet au feu de forge.

Ces silicates sont plus ou moins solubles dans l'eau. Celui qui renferme le plus d'alcali se dissout facilement dans l'eau froide. C'est sa dissolution qu'on connaît depuis longtemps sous le nom de *liqueur des cailloux*. Celle-ci, traitée par un acide, fait effervescence à cause du carbonate de potasse qu'elle renferme en excès, et fournit un précipité gélatineux de silice hydratée.

Le *verre soluble* a été étudié en 1825 par un chimiste de Munich, Fuchs, qui en a conseillé l'emploi pour combattre l'inflammabilité des bois, des toiles, etc. En 1841, M. Kuhlmann l'a appliqué à la silicatisation des pierres.

On le prépare, d'après Fuchs, en chauffant dans un creuset, pendant cinq à six heures, un mélange de 15 parties de quartz pulvérisé, 10 parties de carbonate de potasse et 1 partie de charbon. Quand le verre est bien fondu, on le coule; ou bien on le cueille dans le creuset avec une poche en fer.

Le produit vitreux qu'on obtient ainsi offre l'aspect d'un verre ordinaire; il est ordinairement un peu jaunâtre. On le pulvérise avant de le dissoudre dans l'eau bouillante.

M. Kulmann obtient un produit analogue en chauffant, pendant quelques heures, dans une chaudière en fer, sous une pression de 5 à 6 atmosphères, un mélange de sable et de lessive de potasse caustique. Dans l'intérieur de la chaudière se trouve un

agitateur en fer. On laisse refroidir le liquide jusqu'à 100°, on le soutire, quand il s'est éclairci par le repos, et on le concentre jusqu'à ce que sa densité soit égale à 1.25. Ou bien on l'évapore à siccité dans une chaudière également en fer. On sait que ce métal n'est pas attaqué par les liqueurs alcalines.

Le verre soluble contient environt 65 de silice et 35 de potasse. Il est soluble dans l'eau bouillante, tandis que l'eau froide ne le dissout pas sensiblement. Sa dissolution est décomposée par tous les acides, par l'acide carbonique lui-même; elle est comme coagulée par l'addition d'un sel alcalin.

Mélangée avec des substances en poudre, cette dissolution est collante et agglutinative; c'est une espèce de colle forte minérale.

Dans l'origine, on a employé le verre soluble pour rendre le bois et les étoffes ininflammables; on y ajoutait de l'argile sèche pulvérisée, de la craie, de la litharge, de l'ocre rouge, etc. On a dit que les bois qui sont entrés dans la construction du grand théâtre de Munich avaient reçu cette préparation; mais je tiens de M. Fuchs lui-même qu'on a eu, en effet, le projet de faire cette application, mais qu'on y a renoncé, à cause de la dépense qu'elle eut entraînée.

Une étoffe, même très-fine, comme la gaze ou la mousseline, plongée dans une dissolution étendue de silicate de potasse et séchée, perd la propriété de brûler avec flamme : la matière organique, enveloppée d'un réseau de substance minérale fusible, noircit et se carbonise comme si elle était chauffée dans une cornue à l'abri du contact de l'air; mais elle ne s'enflamme pas. On comprend, par suite, l'intérêt que présenterait l'usage d'un pareil préservatif contre l'incendie. Mais, sans parler de l'insouciance qu'on a généralement pour se garantir d'un danger éventuel, cet emploi présente plusieurs inconvénients : la réaction alcaline du verre soluble altère souvent la couleur des tissus ou des peintures, et, comme cette substance est toujours un peu déliquescente, ceux-ci, bien que séchés, attirent l'humidité de l'air, restent plus ou moins humides, et retiennent opiniâtrément la poussière. Aussi, après des essais assez nombreux, a-t-on dû renoncer à son emploi pour préserver de l'incendie les décors de théâtre, les tentures, les tissus pour robes, etc.

On peut d'ailleurs la remplacer par diverses substances agissant de la même façon, notamment par une dissolution de

parties égales de phosphate d'ammoniaque et de sel ammoniac.

M. Kuhlmann a fait depuis une vingtaine d'années une application plus heureuse du silicate de potasse; je veux parler de la *silicatisation* des pierres calcaires.

Lorsqu'on plonge pendant quelques jours un morceau de craie dans une dissolution moyennement concentrée de cette substance, qu'on l'expose à l'air, qu'on l'introduit dans une dissolution plus étendue et qu'on le sèche, la craie devient presque aussi dure que le marbre; le calcaire, ainsi silicatisé, peut recevoir par le travail un beau poli; immergé dans l'eau, il conserve la cohésion qu'il a acquise.

La théorie de cette opération n'est pas encore bien établie. D'après M. Kuhlmann, il y aurait, dans cette circonstance, formation de silicate de chaux; d'après Fuchs, le carbonate de chaux ne serait pas décomposé; par la dessiccation, ce sel se combinerait avec le silicate de potasse et donnerait naissance à un composé dur et inattaquable par l'eau.

On peut admettre avec plus de vraisemblance, à mon avis, que sous l'influence de l'acide carbonique de l'air, il se produit dans les pores du calcaire un dépôt de silice qui durcit en se desséchant, et qui donne aux matériaux poreux un nouvel état d'aggrégation. Quant au carbonate de potasse qui se produirait parallèlement, il resterait emprisonné dans la pierre. Il ne paraît pas que sa présence ait nui jusqu'à présent à la durée des matériaux qu'on a soumis à la silicatisation.

L'altération plus ou moins rapide des matériaux de construction est en raison de leur porosité. Sous l'influence des gelées, des végétations cryptogamiques, de l'eau pluviale même qui agit par l'acide carbonique qu'elle renferme, les pierres calcaires se délitent, se fendillent, se creusent à la longue. On obvie à ces altérations en les imprégnant d'une dissolution de silicate de potasse. Il est essentiel d'opérer sur des pierres très-sèches, et par un temps sec et chaud.

D'après M. Rochas, qui depuis 1852 a exécuté avec succès de nombreux travaux de cette nature, notamment à Notre-Dame de Paris, au Louvre, à la cathédrale de Chartres, etc., il convient de laver d'abord les bâtiments à l'eau et à la brosse : s'il s'agit de sculptures délicates, on les lave à l'eau avec une pompe lançante.

Quand les pierres sont sèches, on les asperge avec la dissolution de silicate en se servant de la même pompe; ces aspersions sont continuées pendant trois à quatre jours, jusqu'à ce que la pierre se recouvre d'un léger enduit gélatineux.

L'état de concentration de la dissolution varie avec la nature des matériaux. Pour les pierres dures, tels que les grès, la roche, le liais, etc., elle doit marquer 7 à 9 degrés au pèse-sel de Beaumé; pour les pierres tendres à gros grains et à pores ouverts, 5 à 7 degrés; pour les calcaires tendres à pâte molle, 6 à 7 degrés : on termine, d'ailleurs, l'opération avec un liquide plus étendu, d'une densité de 3 à 4 degrés seulement.

M. Kuhlmann fait avec le silicate de potasse des peintures dans lesquelles ce sel remplace les huiles et les essences ordinairement en usage. Avec une dissolution concentrée, on obtient immédiatement la complète solidification de ces mélanges qui présentent le grand avantage d'être absolument sans odeur.

La base de cette peinture est le sulfate de baryte artificiel; les principales matières colorantes, qui doivent être choisies parmi celles que le silicate de potasse n'altère pas, sont le vermillon, l'outremer, le sulfure de cadmium, les ocres, les oxydes de manganèse et l'oxyde vert de chrome.

La céruse et le blanc de zinc sont exclus de ce mode de peinture; ils durcissent immédiatement quand on vient à les mélanger avec le silicate de potasse; ils sont remplacés avec une grande économie par le sulfate de baryte.

En présence des nombreux inconvénients que présente la peinture ordinaire à la céruse, à l'huile et à l'essence, on doit désirer que les procédés préconisés par M. Kulmann se vulgarisent et deviennent d'un emploi général.

ACTION DE LA CHALEUR SUR LES VERRES. DÉVITRIFICATION.

Tous les verres sont fusibles entre la température du rouge clair et celle du rouge blanc. Ils se transforment en un produit homogène, transparent, d'autant plus liquide que la température est plus élevée, devenant pâteux par un abaissement de température, puis dur et cassant quand il est refroidi.

Parfois le verre, maintenu longtemps à une température élevée,

change d'état; il perd sa transparence, il devient opaque. Il subit cette transformation tout en conservant la forme qu'il a reçue. Ce curieux phénomène est connu sous le nom de *dévitrification*.

Il a été étudié en 1727 par Réaumur, qui, en maintenant pendant douze heures dans un four à porcelaine des objets en verre enterrés dans des pots remplis de sable et de gypse, transformait le verre en une substance opaque, assez dure pour faire feu au briquet, ayant l'aspect de la porcelaine blanche. De là le nom de *porcelaine de Réaumur*, qu'on a donné à ce produit.

A diverses époques, on a vainement cherché à introduire dans l'industrie des objets en verre dévitrifié; il est difficile, en effet, de ne pas déformer les pièces qu'on soumet ainsi à l'action d'une température élevée longtemps prolongée. Cette opération entraîne d'ailleurs une grande dépense de combustible.

On avait d'abord pensé que cette transformation était due à la formation de silicates définis, se produisant au sein de la masse vitreuse soit par une sorte de liquation, soit par la volatilisation d'une partie de l'alcali, ou par l'absorption de celui-ci par le milieu dans lequel elle est placée. Le verre prend, en effet, en se dévitrifiant, un aspect cristallin, fibreux, très-apparent. Mais M. Pelouze a établi que le verre dévitrifié offre exactement la même composition que le verre transparent qui lui a donné naissance. Un morceau de glace de Saint-Gobain, chauffé pendant vingt-quatre à quarante-huit heures sur la sole d'un four à recuire, ne subit aucun changement de poids; par la fusion, qui ne paraît pas exiger une température plus élevée, cette glace donne un verre transparent, dont la composition reste toujours la même. Le verre à glace, ainsi dévitrifié, est moins cassant que le verre ordinaire qu'il raye facilement; le diamant ne le coupe plus; il a une texture fibreuse très-marquée. Il conduit beaucoup mieux l'électricité.

Tous les verres, d'après M. Pelouze, peuvent être dévitrifiés; le cristal lui-même subit cette modification, mais bien plus difficilement que les autres verres; sa cassure devient lisse, elle n'est pas fibreuse; les verres à base de potasse se dévitrifient d'ailleurs beaucoup moins facilement que ceux à base de soude.

Le silicate de soude ($3\,SiO^3\,NaO$) est celui qui se dévitrifie le plus facilement; il devient opalin par un simple recuit.

La dévitrification est rendue plus prompte et plus facile par le

contact du verre en poudre mêlé avec quelques centièmes de son poids de sable, et même par l'intervention du verre pulvérisé.

Le verre à vitre et le verre à bouteille sont surtout d'une dévitrification très-facile. Cette circonstance oblige à travailler ces sortes de verres aussi rapidement que possible; autrement, avant que le souffleur ait utilisé toute la matière fondue dans son creuset, le verre perd une partie de sa transparence, devient *galeux;* dans cet état, il est impossible de le travailler. On trouve très-souvent dans le fond des creusets des portions de verre dévitrifié, tantôt opaques comme de la porcelaine, tantôt sous forme de mamelons opaques, emprisonnés dans la masse vitreuse, tantôt sous forme de prismes isolés ou réunis en étoiles.

Les figures ci-jointes donnent la reproduction exacte du verre dévitrifié en mamelons.

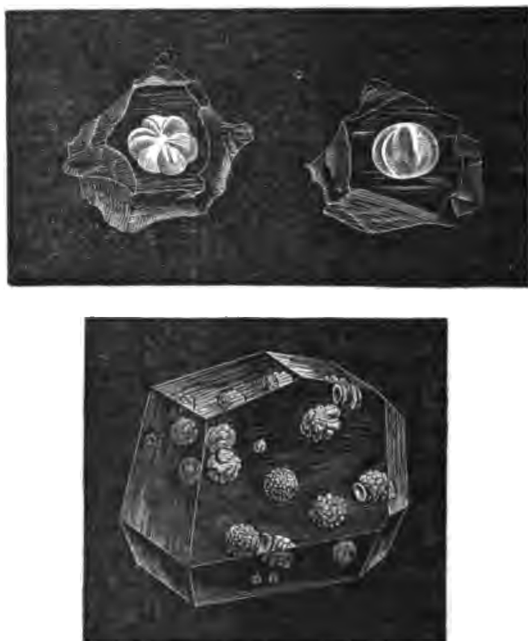


Fig. 1.

Trempe et recuit du verre. — Le verre, étant un corps à la fois mauvais conducteur de la chaleur et très-fragile, éclate immé-

diatement quand, étant chaud, on le soumet à un brusque refroidissement. Tous les objets en verre, quel que soit leur mode de fabrication, étant toujours le résultat d'un travail très-rapide, et étant soumis à un refroidissement brusque par l'air ambiant, sont tellement cassants, qu'ils ne seraient propres à aucun usage si l'on ne corrigeait ce défaut par une opération ultérieure, le *recuit*, qu'on fait subir à toutes les pièces fabriquées. Dans ce but, on dépose ces pièces aussitôt qu'elles sont terminées, et encore rouges, dans une longue galerie chauffée par la chaleur perdue, et on les fait cheminer de manière que leur refroidissement se fasse très-lentement, ou bien encore on les chauffe de nouveau au rouge sombre dans un four spécial, dont on bouche les ouvertures, de manière à obtenir le même résultat. Le recuit est d'autant plus difficile à obtenir, et doit être d'autant plus soigné, que les pièces de verre sont plus épaisses et plus volumineuses. C'est à un recuit insuffisant qu'il faut attribuer la casse si fréquente des verres de lampe, surtout quand on les emploie pour la première fois.

Au moment de la solidification d'une pièce de verre un peu épaisse, les parties qui la composent éprouvent une contraction inégale; les parties extérieures sont déjà solidifiées, quand la partie interne est encore molle; de là un état d'équilibre instable qui se révèle fréquemment par la rupture de la pièce, soit par un abaissement de température, soit par un choc. On désigne dans les verreries, sous le nom de *fioles d'épreuve*, des pièces soufflées de verre épais, destinées à reconnaître l'état d'affinage du verre dont on va commencer le travail. Ces pièces, abandonnées loin des fours à un refroidissement brusque, sont tellement fragiles, que le plus petit caillou projeté dans leur intérieur suffit pour les faire éclater; un léger changement de température peut aussi déterminer leur rupture, surtout quand elles sont de confection toute récente.

Les *larmes bataviques* (fig. 2) présentent au plus haut degré ce caractère de fragilité que le verre acquiert par la trempe. Ce sont des gouttes de verre terminées par une pointe déliée qu'on produit en laissant tomber du verre très-liquide dans un vase plein d'eau froide. La partie extérieure de ces larmes est déjà solidifiée, quand la partie intérieure est encore à une température rouge; celle-ci, une fois refroidie, se trouve dans un grand

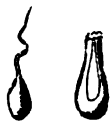


Fig. 2.

état de tension, et exerce sur l'enveloppe un effort considérable. Vient-on à détruire la solidarité établie entre toutes les particules du verre, en entamant le verre sur un point quelconque, en cassant par exemple la fine queue de la larme, toute la masse éclate avec bruit et se réduit en poussière.

Quand le verre n'a pas été recuit, on le fend aisément en lui faisant subir un changement brusque de température. Les ouvriers mettent à chaque instant cette propriété à profit pour séparer de leur canne les objets soufflés, pour fendre les manchons de verre, pour détacher le verre qui adhère à leurs outils, etc.; il leur suffit de toucher le verre avec un morceau de fer froid au point où ils veulent déterminer sa rupture. Lorsqu'il a subi le recuit, s'il est déjà fêlé sur un point, on continue la fente, et on la dirige à volonté, en chauffant le verre à une petite distance de celle-ci avec un fer rouge, ou mieux avec le *charbon à couper le verre*. D'après Berzélius, on prépare ce charbon, dont on se sert fréquemment dans les laboratoires pour utiliser les matras de verre fêlés, etc., avec une pâte composée des matières suivantes :

5 parties gomme arabique dans 8 parties d'eau.
2 — gomme adragante dans 12 parties d'eau.
1 — storax calamite dans 3 parties 1/2 d'alcool.
1 — Benjoin dissous dans 2 parties d'alcool.
12 à 14 parties de charbon en poudre.

Le mélange étant bien homogène, on en fait de petits cylindres qu'on laisse sécher lentement.

Ce charbon, une fois allumé, continue à brûler, sans s'éteindre, quand on souffle dessus.

On obtient le même résultat avec du fusain trempé dans une dissolution d'azotate de plomb, et séché; ou bien, avec de simples règles en bois blanc qu'on fait bouillir avec de l'eau chargée d'azotate de potasse.

ACTION DE L'EAU SUR LES VERRES.

Les verres sont des mélanges ou des combinaisons de deux silicates au moins : un silicate alcalin, et un silicate terreux ou plombeux. Le premier serait plus ou moins soluble ou attaquable par l'eau, s'il était seul; associé à l'autre, il n'est soluble qu'autant qu'il existe en quantité prédominante.

Tous les objets en verre qu'on fabrique aujourd'hui résistent à l'action de l'eau froide. Mais il n'en a pas toujours été ainsi. Il n'était pas rare de rencontrer, autrefois, des gobelets qui se ternissaient par suite de l'humidité qu'ils empruntaient à l'air, et même qui s'emplissaient, à la longue, d'une dissolution concentrée de carbonate de potasse. On sait que ce sel est très-avide d'eau et déliquescent. Ces verres étaient le résultat d'une fabrication défectueuse, dans laquelle, pour économiser le combustible ou pour rendre le travail plus prompt et plus facile, on exagérait la dose de fondant alcalin.

La plupart des objets en verre dont la fabrication remonte à une époque reculée, ont subi, de la part du temps et de l'humidité, une altération très-marquée. Les lacrymatoires, les fioles, les urnes, tous les verres antiques qu'on trouve dans les tombeaux des anciens Romains et des Gaulois, présentent un aspect irisé, chatoyant, nacré, avec des reflets parfois très-brillants, comme ceux des ailes de quelques espèces de papillons. Il en est de même des carreaux de vitre de fabrication plus moderne qui existent aux fenêtres des étables, des écuries, c'est-à-dire de locaux exposés tout à la fois à une humidité persistante et à une température assez élevée. Les écailles irisées qu'on en détache facilement par un léger frottement sont un mélange de silice et de silicates terreux : le silicate alcalin a disparu. Ce dédoublement est analogue à celui qu'a subi le feldspath (silicate de potasse et d'alumine) lors de sa transformation en kaolin.

Les verres fabriqués en vue des besoins de l'optique, *le flint-glass* et *le crown-glass*, qui exigent une transparence, une limpidité exceptionnelles, contiennent souvent une trop forte proportion d'alcali qui les rend humides à la surface, et qui, à la longue, amène l'altération des formes qu'ils ont reçues et leur ôte leur éclat. Des disques de *crown-glass*, empilés les uns sur les autres, se soudent quelquefois très-solidement les uns aux autres, par suite du silicate de soude, qui attire l'humidité et détermine l'adhérence de ces objets.

Les glaces coulées sont loin d'être toutes exemptes de cette cause d'altération. On trouvait dans le commerce, il y a une quinzaine d'années, beaucoup de glaces qui se recouvraient de petits cristaux aiguillés de carbonate de soude. Ces glaces avaient l'inconvénient de *ressuer*. Les glaces anglaises qui figuraient

à l'Exposition de Londres de 1851 offraient toutes ce défaut d'une manière très-marquée, malgré la précaution qu'on avait de les nettoyer fréquemment. Aujourd'hui même il est rare de rencontrer une glace, exposée dans un endroit humide, qui ne bleuisse pas un papier rouge de tournesol qu'on promène mouillé sur sa surface.

Si l'eau froide a peu d'action sur les objets de gobeleterie qu'on fabrique aujourd'hui, il n'en est pas de même de l'eau bouillante. Les matras en verre dans lesquels on fait chauffer l'eau dans nos laboratoires, se dépolissent assez rapidement, par suite de la dissolution partielle du silicate alcalin. Il y a moins d'un siècle, un chimiste ayant prétendu que l'eau, par une distillation répétée un grand nombre de fois, se changeait en terre, Lavoisier soumit à des distillations et à des condensations successives la même eau dans un alambic en verre, et constata, à la suite d'une expérience qui ne dura pas moins de cent un jours, que ce vase avait perdu environ 1 gramme de son poids, et que le résidu fourni par l'évaporation de l'eau qu'il renfermait était fortement alcalin, par suite de l'altération que le verre avait subie. Malgré les progrès réalisés dans l'art de la verrerie, si la même expérience était faite aujourd'hui, elle donnerait encore le même résultat.

Le verre en poudre est surtout très-facilement altéré par l'eau chaude. Un chimiste anglais, Griffiths, a retiré 7 p. 100 de potasse d'un échantillon de cristal pulvérisé qu'il a fait bouillir avec de l'eau pendant plusieurs semaines.

M. Pelouze a montré que du verre blanc porphyrisé, formé pour 100 parties de :

Silice.	72
Soude.	12 5
Chaux.	15.5

perd 10 pour 100 de son poids, par suite d'une simple ébullition avec l'eau.

Un autre verre plus alcalin, renfermant :

Silice.	77.3
Soude.	16.3
Chaux.	6.4

a subi dans les mêmes conditions une altération si profonde,

que 34 parties de ce verre sur 100 ont été détruites. M. Pelouze a obtenu ainsi une dissolution de silicate de soude et un mélange insoluble de silice et de verre non encore altéré.

Toutes les sortes de verres en poudre absorbent peu à peu l'acide carbonique de l'air et font effervescence quand on les met en contact avec un acide. Tous bleuissent, en poudre fine, le papier rouge de tournesol. Bouillis avec une dissolution de sulfate de chaux, ils donnent du sulfate de soude qui se dissout et du sulfate de chaux. (M. Pelouze.)

Action des acides et des alcalis. Les verres qui sont attaqués par l'eau sont à plus forte raison attaqués par les acides, même par les acides faibles et dilués.

Le verre pulvérisé est très-altérable par l'acide chlorhydrique étendu d'eau, à chaud et même à la température ordinaire. Il en est de même du cristal en poudre qui donne immédiatement une liqueur qui, contenant du plomb, noircit par l'addition de l'acide sulfhydrique. (M. Pelouze.)

Parmi les différentes espèces de verre, le verre à bouteille est celui qui résiste le moins à l'action des acides. La nécessité de le produire au meilleur marché possible oblige à y introduire une forte proportion de bases; aussi la plupart des bouteilles sont attaquées par les acides. Introduisez de l'acide sulfurique concentré dans une bouteille ordinaire, et après un temps plus ou moins long, vous verrez presque toujours s'y développer des concrétions mamelonnées de sulfate de chaux, en même temps que l'alumine, le fer et l'alcali du verre se dissoudront dans l'acide, et que la silice se déposera sous forme de gelée. Peu de bouteilles résistent à cette épreuve; beaucoup sont attaquées par les acides minéraux concentrés et résistent à l'action des acides très-dilués. Il n'est pas rare d'en rencontrer que le bitartrate de potasse contenu dans le vin attaque d'une manière sensible. La silice et le tartrate de chaux se déposent; le vin prend en même temps une saveur d'encre marquée, par suite de la dissolution de l'alumine et du fer : aussi le vin se trouble et se décolore.

Quand la qualité de la bouteille est meilleure, ces effets se produisent encore à la longue, et je suis disposé à croire que les modifications que le vin subit quand on le conserve longtemps en bouteilles, quand il vieillit, quand il se dépouille, ne sont pas

étrangères, dans beaucoup de cas, à la nature de la bouteille elle-même. Ainsi la décoloration plus ou moins rapide du vin serait due à la production d'une sorte de laque fournie par la silice gélatineuse et la matière colorante du vin; la faculté bien connue qu'ont certains vins blancs de noircir, quand ils séjournent, même pendant peu d'instants, dans le verre à boire, pourrait être attribuée à une cause analogue; en effet, les vins blancs contiennent du tannin, et sous l'influence d'une petite quantité de fer qu'ils emprunteraient à la bouteille, ils se coloreraient à l'air par suite de la production d'une trace de tannate de peroxyde de fer, qui est, comme on sait, le principe colorant de l'encre à écrire. Ceci n'est d'ailleurs qu'une présomption qui aurait besoin d'être appuyée par des expériences directes.

Quoi qu'il en soit, certaines bouteilles sont très-rapidement attaquées par toutes les liqueurs acides. J'ai eu occasion d'examiner, il y a une vingtaine d'années, des bouteilles à vin de Champagne, en apparence d'une bonne fabrication, mais en réalité tellement mauvaises, que le vin s'y altérait profondément au bout de quelques jours : de l'eau contenant seulement 4 pour 100 d'acide sulfurique y produisait du jour au lendemain une épaisse croûte de sulfate de chaux cristallisé. Cet examen était fait à l'occasion d'une discussion entre un fabricant de vin de Champagne se plaignant des bouteilles qu'on lui livrait et un fabricant de bouteilles qui attribuait à la mauvaise nature du vin l'altération que le liquide de son client subissait si rapidement dans les vases qu'il lui avait fournis.

Ce verre, dont j'ai conservé l'échantillon très-altéré que je mets sous vos yeux, m'a donné :

Silice	52.4
Chaux	32.1
Alumine	5.1
Protoxyde de fer	6.0
Potasse	4.4
	100.0

Cette forte proportion de chaux explique l'action énergique que les acides exercent sur ce verre.

Les objets fabriqués en cristal bien fait résistent assez bien à l'action de l'eau et des acides; mais les dissolutions fortement

alcalines qu'on conserve dans des flacons de cristal leur empruntent de l'oxyde de plomb; les sulfures alcalins y donnent à la longue un dépôt noir de sulfure de plomb. On sait dans tous les laboratoires avec quelle rapidité se soudent les bouchons en verre des flacons dans lesquels on a mis des dissolutions de potasse ou de soude caustique. Cet effet est dû à la formation d'un silicate soluble, alcalin, qui, comme je l'ai dit, jouit de propriétés adhésives très-marquées.

L'acide fluorhydrique exerce sur tous les verres une action spéciale des plus énergiques, qu'on met à profit pour graver sur verre. On l'emploie également pour faire, à l'aide de procédés aussi sûrs que faciles à exécuter, l'analyse exacte des différentes sortes de verres.

Gravure sur verre. On se sert pour graver sur verre de l'acide fluorhydrique à l'état gazeux ou à l'état liquide. Il est préférable de l'employer sous cette dernière forme.

On prépare l'acide fluorhydrique par les procédés ordinaires, en chauffant dans une cornue de plomb une partie de fluorure de calcium pulvérisé et trois parties et demie d'acide sulfurique concentré; on étend l'acide du tiers ou de la moitié de son volume d'eau et on le conserve dans une bouteille de plomb ou mieux de gutta-percha. Le verre est enduit d'un vernis de cire et de térébenthine qu'on applique à chaud à l'aide d'un pinceau. Pour les dessins qui doivent offrir une certaine finesse, on se sert de l'huile de lin siccative. On trace le dessin avec une pointe, comme pour la gravure à l'eau-forte. La transparence du vernis à l'huile de lin permet facilement de le décalquer. On entoure la partie enduite de vernis d'un bourrelet en cire et on fait mordre l'acide sur le verre pendant un temps plus ou moins long, selon la profondeur des tailles qu'on veut obtenir. On lave à l'eau, puis à l'essence ou à l'alcool, pour enlever le vernis.

On comprend que le verre n'est attaqué que dans les parties qui ont été dénudées par le burin.

M. Gugnon, de Metz, applique sur le verre enduit d'une très-légère couche d'essence de térébenthine un dessin découpé à jour, en métal ou sur papier, une dentelle, etc. Il tamise à sa surface une poudre fine de bitume de Judée et de mastic

en larmes : le patron est enlevé avec soin; puis le verre est chauffé légèrement, de manière à fondre la poudre répandue dans les jours du dessin qui, par conséquent, se trouvent préservés de l'action de l'acide, qu'on fait mordre pendant 30 à 40 minutes, et qui n'attaque que le verre sur lequel adhéraient les parties pleines du dessin. Ce procédé est très-rapide; en le suivant, deux ouvriers peuvent graver dans une journée jusqu'à 20 mètres superficiels de verre à vitre ou de glace.

Avec les verres doublés, on obtient par ces procédés des dessins rouges, bleus, etc., sur des fonds blancs. On sait que ces verres sont composés de verre incolore avec une couche très-mince de verre coloré. Ce mode de gravure est fort employé en Angleterre pour faire des enseignes transparentes sur lesquelles les lettres se détachent en blanc ou en couleur. On s'en sert également pour la peinture sur verre, la partie blanche corrodée pouvant recevoir ensuite au feu de mouffle des couleurs variées.

Analyse des verres. L'acide fluorhydrique permet d'analyser sûrement et rapidement les différentes sortes de verres. Ces analyses offrent un grand intérêt; non-seulement elles permettent d'arriver à la connaissance des éléments constituants du verre, mais elles fournissent au verrier la possibilité de calculer la proportion des matières premières employées à produire un verre d'une nature déterminée.

On fait arriver sur le verre réduit en poudre fine et humectée d'eau des vapeurs d'acide fluorhydrique; la silice disparaît; il reste des fluorures qu'on traite par l'acide sulfurique. On dose ensuite par les procédés ordinaires de la chimie analytique les différentes bases qui se trouvent ainsi amenées à l'état de sulfates.

M. H. Rose a donné récemment un procédé d'une exécution facile, basé sur le même principe; au lieu de faire usage de l'acide fluorhydrique, dont la préparation et l'emploi exigent toujours quelques précautions, à cause de l'action délétère que ce corps exerce sur la peau, on se sert du fluorhydrate d'ammoniaque, qui, étant solide, est d'un maniement plus commode. Un mélange d'une partie du silicate à analyser avec six parties de ce sel, humecté d'un peu d'eau, est chauffé dans une capsule de platine jusqu'à ce que les vapeurs blanches cessent de se pro-

duire : le résidu est traité par l'acide sulfurique, et chauffé de manière à vaporiser l'excès de ce dernier acide. Les bases sont ainsi amenées comme précédemment à l'état de sulfates.

Une autre méthode, plus générale encore, pour analyser les silicates, consiste à les chauffer jusqu'à fusion dans un creuset de platine, après les avoir mélangés avec trois fois leur poids de carbonate de soude pur et sec. Ils deviennent ainsi attaquables par l'acide chlorhydrique étendu d'eau. La liqueur qu'on obtient est évaporée à siccité, dans le but de rendre toute la silice insoluble dans l'eau : on la recueille sur un filtre qu'on lave et qu'on calcine. La liqueur filtrée renferme les différents métaux à l'état de chlorures; on les sépare par les méthodes ordinaires.

Si le verre est à base de plomb, on remplace l'acide chlorhydrique par l'acide azotique, afin d'éviter la formation du chlorure de plomb, qui est, comme on sait, peu soluble dans l'eau et qu'on séparerait difficilement d'avec la silice.

L'emploi du carbonate de soude ne permet pas de déterminer avec une précision suffisante la proportion et même la nature de l'élément alcalin (potasse ou soude) que le silicate renferme : pour arriver à cette détermination, on substitue au carbonate de soude le carbonate de baryte, obtenu en précipitant un sel de baryte par le carbonate d'ammoniaque. On emploie six parties de carbonate de baryte pour une de verre. Le mélange doit être aussi intime que possible, et l'attaque se fait à une température très-élevée.

Le résidu est traité par l'acide chlorhydrique pour séparer la silice; à la liqueur filtrée on ajoute un léger excès d'acide sulfurique, de manière à se débarrasser de la baryte; dans la liqueur, filtrée de nouveau, se trouvent les différentes bases.

Si le verre est plombeux, le produit attaqué par le carbonate de baryte ayant été traité par l'acide azotique pour doser la silice, on sépare la baryte par l'acide sulfurique, puis on précipite le plomb à l'état de sulfure en faisant passer dans la liqueur un courant de gaz sulfhydrique.

MATIÈRES PREMIÈRES EMPLOYÉES DANS LA FABRICATION DU VERRE.

Silice. Nous avons vu que toutes les sortes de verres contiennent comme élément essentiel la silice. Le choix de cette

matière exerce l'influence la plus directe sur la qualité du verre.

Pour les verres blancs, tels que le verre de Bohême, le cristal, le verre à vitre, le verre à glaces, la silice doit être aussi pure, aussi exempte de fer que possible.

Les Bohêmes emploient le quartz hyalin étoné, trié et pulvérisé dans des mortiers en bois, avec des pilons en quartz. Ils évitent ainsi l'introduction dans leur silice de parcelles métalliques.

En France, pour le cristal, les glaces, le verre à vitre, la gobeleterie fine, on se sert généralement des sables les plus blancs de Fontainebleau, de Champagne, de Nemours, etc. Les sables blancs de France sont également recherchés en Belgique pour la fabrication du cristal, des glaces et des verres à vitre de première qualité.

En Angleterre, les sables du pays sont ferrugineux; aussi les glaces et les verres à vitre de fabrication anglaise présentent-ils une couleur verte très-marquée. On est réduit à se servir du silex de la craie qu'on étone et qu'on pulvérise. Pour les glaces, on emploie le sable de mer de l'île de Wight; pour les produits de luxe, les cristalleries anglaises font venir leur sable de France et même d'Amérique.

Pour les bouteilles, on recherche au contraire les sables ferrugineux et argileux, parce qu'ils apportent avec eux le fer et l'alumine, qui entrent comme fondants dans cette sorte de verre.

Potasse. La fabrication des verres de Bohême et du cristal réclament de la potasse (carbonate de potasse) aussi pure, aussi riche en dégré que possible. Les potasses qu'on emploie de préférence sont les potasses perlasses d'Amérique et la potasse provenant des résidus du travail des betteraves, qu'on désigne, en France, sous le nom de potasse indigène. En Bohême, on se sert de la potasse provenant des cendres de bois du pays ou de la Hongrie.

Les potasses d'Amérique, convenablement choisies et purifiées, donnent le plus beau cristal. Les potasses indigènes, également purifiées, sont aussi d'un bon emploi. Il est essentiel qu'elles soient à peu près exemptes de soude; car cette base altère l'éclat et la blancheur du cristal.

Soude. Cet alcali, dont l'emploi est beaucoup plus général aujourd'hui que celui de la potasse, est introduit dans la composition du verre sous forme de carbonate (sel de soude), plus souvent à l'état de sulfate.

Le sel de soude n'est plus guère employé que dans la fabrication de la gobeleterie fine; pour les glaces, il a été remplacé, en grande partie, dans ces dernières années, par le sulfate de soude purifié.

Ce dernier sel, qui donne au meilleur marché possible l'élément alcalin du verre, est aussi en usage dans la fabrication du verre à vitre et des bouteilles. On facilite ordinairement sa décomposition par l'addition d'une petite quantité de charbon.

Chaux. Pour ces deux dernières sortes de verres, pour les glaces et pour le verre de Bohême, la chaux est employée tantôt à l'état de chaux éteinte, tantôt à l'état de carbonate (pierre calcaire, calcaire cru, calcaire saccharoïde, marbre).

Oxyde de plomb. C'est toujours à l'état de minium que le plomb entre dans la composition du cristal, bien qu'il y soit à l'état de silicate de protoxyde de plomb. Il est de la plus grande importance que le minium soit exempt d'oxydes ou de métaux colorants quand il est destiné à la fabrication du cristal blanc. L'oxyde de cuivre est surtout à redouter. L'argent, l'or, le manganèse, le fer, peuvent aussi se rencontrer dans cet oxyde, dont la préparation se fait avec les meilleurs plombs d'Angleterre et d'Espagne.

J'aurai, d'ailleurs, à revenir, en parlant des fabrications spéciales, sur chacune de ces matières premières, dont le choix, la préparation, la purification exercent une influence si grande sur la qualité des produits qui résultent de leur emploi.

FABRICATION DE LA POTERIE : DES POTS OU CREUSETS ET DES BRIQUES POUR LA CONSTRUCTION DES FOURS.

Les matières premières qui par leur combinaison produisent le verre sont amenées à l'état de fusion dans de grands creusets en argile réfractaire. La bonne qualité de ces creusets est d'une si grande importance, que la plupart des verreries ne s'en rapportent qu'à elles-mêmes pour les soins très-minutieux qu'exige

la fabrication de leur poterie, qui, selon qu'elle est bonne ou mauvaise, assure ou compromet la prospérité de l'établissement.

Ces creusets doivent supporter pendant plusieurs semaines une température très-élevée sans se déformer, sans se fendre, sans se vitrifier. Cette température n'est pas moindre de 1000 à 1200°.

Les briques qui servent à construire les fours exigent les mêmes soins; elles sont faites également dans la verrerie, avec la forme qu'elles doivent avoir d'après la position qu'elles occuperont dans le four.

On fait choix des argiles les plus réfractaires, exemptes, autant que possible, de fer et de chaux. En France, on emploie le plus souvent l'argile plastique de Forges-les-Eaux (Seine-Inférieure). Elle contient 73 de silice et 27 pour 100 d'alumine, avec des traces de fer.

L'argile d'Andenne, des environs de Liége, est généralement employée en Belgique. C'est une terre d'une qualité très-supérieure, recherchée également en France et en Prusse. Elle est composée de :

Silice	64.2
Alumine	33.7
Oxyde de fer	2.1
	100.0

En Angleterre, on se sert de l'argile de Stourbridge ; elle contient 7 à 8 pour 100 d'oxyde de fer et 0.5 de chaux.

Quelle que soit la localité qui fournisse l'argile, cette substance, n'étant pas homogène, doit être nettoyée et triée; on en sépare à la main les parties pyriteuses qu'elle renferme souvent; enfin on soumet à l'épreuve du four de verrerie des pièces confectionnées avec l'argile qu'on veut essayer. Son aspect, sa composition même ne suffisent pas pour garantir sa qualité.

Pour parer au retrait considérable que toutes les argiles subissent à la cuisson, l'argile crue est toujours mélangée avec de l'argile cuite qu'on désigne habituellement sous le nom de *ciment*. A cet effet, on se sert le plus souvent de débris de creusets soigneusement dépouillés du verre qui y reste adhérent. Ces débris sont pulvérisés sous des meules verticales en fonte; ou bien on cuit au four à réverbère l'argile séchée et réduite en poudre qui forme alors le ciment.

On en fait une pâte homogène, dans un pétrissoir mécanique, avec l'argile crue et de l'eau. Le mélange est ensuite *marché,* comme la plupart des pâtes céramiques. On en forme des blocs qu'on laisse pourrir pendant quelques semaines dans un local humide. Cette opération donne à la matière une certaine plasticité.

Un homme marche dans sa journée la quantité de terre nécessaire pour faire un pot, soit environ 300 kil.

Les proportions d'argile crue et de ciment varient selon la nature de l'argile. On emploie habituellement trois parties d'argile pour une partie de ciment; en Angleterre, cinq parties pour une partie; en Belgique, pour la terre d'Andenne, parties égales, ou cinq de ciment pour quatre de terre crue.

Fabrication des pots, ou creusets. Les creusets qui servent à fondre le verre ont une forme et une dimension variables. Ils sont ronds, ovales, rectangulaires; pour le cristal fait à la houille, ils sont couverts et présentent la forme d'une cornue à col très-court; leur hauteur varie entre 0.50 centimètres et 1 mètre. Quand ils sont cuits, leurs parois latérales ont 5 à 7 centimètres d'épaisseur; le fond 10 centimètres. Les grands creusets contiennent ordinairement 5 à 600 kilogrammes de verre fondu.

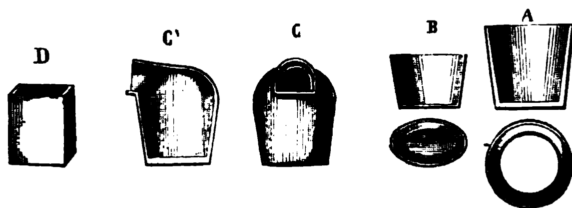


Fig. 3.

La confection de ces creusets est très-minutieuse. Ils se font à la main, avec ou sans moule extérieur, par la superposition de petits cylindres de pâte argileuse qu'on appelle *colombins.* Le plus souvent on se sert d'un moule ou d'une cuve en bois qu'on tapisse intérieurement d'une toile mouillée. Les colombins étant préparés d'avance et aplatis d'un côté, on les applique sur la toile les uns contre les autres, en commençant par le milieu du

fond, de manière qu'ils forment une surface continue. On monte ainsi les colombins, en amorçant et en grattant pour souder la terre qui doit être aussi dure que possible, jusqu'à ce qu'on soit arrivé à la partie supérieure du moule. Quand le creuset est terminé, on le bat intérieurement avec une molette de marbre ou de bois, dans un local un peu chaud. Au bout de quelques jours, on renverse le moule, qu'on enlève ainsi que la toile, et on répare soigneusement les défauts que le creuset peut avoir à l'extérieur. On le retourne et on le laisse sécher pendant quatre à huit mois dans une pièce chauffée à 30, à 40 degrés. Enfin on le cuit graduellement jusqu'au rouge avant de l'introduire sur la banquette du four de fusion, à la place du creuset hors de service qu'il doit remplacer.

Dans quelques verreries, les pots sont faits dans des moules à charnières ; dans d'autres on les façonne par la superposition des colombins, sans le secours du moule. Ce travail exige des ouvriers très-habiles ; mais il donne des vases d'une pâte plus homogène et d'un plus long usage.

Un potier et deux aides font trois à quatre pots par semaine. La durée de ces pots est de un, deux, rarement de trois mois.

Pour le cristal fait à la houille, on emploie des pots couverts, C et C′, dont on termine la confection sans moule. On y introduit, avant de faire le dôme, la couronne d'argile dont nous indiquerons plus loin l'utilité.

Les fours de fusion sont construits avec des briques réfractaires faites avec la même terre que les creusets. La température qui s'y développe doit être très-élevée, constante, facile à régler. La flamme circule entre les pots, qui reposent sur les banquettes. La voûte du four est surbaissée de manière à profiter de la chaleur réfléchie. Les fours sont de forme circulaire ou rectangulaire. Ils contiennent ordinairement huit à dix creusets. Au milieu se trouve une longue grille dont le cendrier est en contre-bas du sol. L'arrivée de l'air pour le tirage se fait par des galeries souterraines. Chaque pot se trouve en communication avec une ouverture ménagée dans la paroi du four, qu'on appelle *ouvreau*. C'est par cette ouverture qu'on cueille le verre et qu'on introduit les matières premières, la *composition*, qui sert à le produire.

Les phénomènes produits pendant la fusion varient selon la

nature des verres. Si la composition est un mélange de silice, de carbonate de chaux et de carbonate de soude, la matière se fritte d'abord, et quand la fusion commence, elle est rendue bulleuse par suite du dégagement de l'eau et de l'acide carbonique contenus dans les sels employés. Le sel de soude est-il remplacé par un mélange de sulfate de soude et de charbon, il y a production d'acide sulfureux, d'oxyde de carbone et d'acide carbonique. Dans tous les cas, il est nécessaire qu'il y ait dégagement de produits gazeux, qui produisent le brassage de la matière et la rendent plus homogène. C'est pour cette raison que pour faire le cristal on se sert du minium; cet oxyde donne de l'oxygène, qui opère ce brassage et qui en outre brûle les matières organiques que la potasse ou le sable pourraient renfermer. L'acide arsénieux en poudre, qu'on ajoute en petite quantité à la composition de beaucoup de sortes de verres, agit de la même façon en se volatilisant. Il en est de même du nitre, qui fournit des produits gazeux et en même temps un fondant alcalin pour le cristal, mais qu'on ne peut employer qu'en quantité minime, parce qu'il use rapidement les pots.

La matière argileuse qui constitue les creusets ne résiste pas, en effet, indéfiniment aux produits qu'elle reçoit. A la longue, elle se vitrifie elle-même; elle se dissout dans le verre fondu. De là vient la petite quantité d'alumine et d'oxyde de fer qu'on trouve dans tous les verres. Les parois du creuset s'amincissent de plus en plus, jusqu'au moment où elles se fendillent, n'ayant plus une épaisseur suffisante pour résister à la pression intérieure que le verre fondu exerce sur elles. Le remplacement d'un pot hors de service par un pot neuf se fait en sortant le premier et en introduisant l'autre par l'ouverture de la grille, les barreaux de celle-ci étant momentanément enlevés. C'est une opération toujours difficile, qui entraîne une perte de matières et de temps. De là l'extrême importance que présente pour le verrier la bonne qualité de la poterie qu'il emploie.

Indépendamment des produits gazeux, tels que l'acide carbonique, l'acide sulfureux, la vapeur d'eau, l'oxygène, l'acide arsénieux, etc., il se produit des fumées blanches qui sont dues soit à la volatilisation des chlorures alcalins contenus dans les sels de potasse ou de soude, soit à celle de ces alcalis; aussi la voûte d'un vieux four est-elle enduite à l'intérieur d'une épaisse couche vitrifiée. A mesure que la température se prolonge, la matière

devient moins bulleuse; elle s'éclaircit, elle s'affine; elle est très-liquide. Le *fiel de verre*, qui est un mélange de sulfates et de chlorures alcalins, monte à la surface de la matière fondue et est enlevé avec des outils en fer. Quand l'affinage paraît suffisamment avancé, on souffle quelques fioles épaisses de verre et on examine si le verre est exempt de coloration, de bulles, de bouillons, de stries, de grains de sable. Quand cette épreuve est satisfaisante, on laisse la température s'abaisser de manière à donner au verre la consistance pâteuse qui permet de le travailler. La fonte et l'affinage durent douze à vingt-quatre heures. On fait alors le travail. Chaque creuset vidé, on y introduit par l'ouvreau, et par fractions, la composition, et on recommence la fonte. Ainsi la fabrication est continue; elle ne s'arrête que quand le four lui-même est tellement détérioré qu'on est forcé de le reconstruire. Ce qui arrive après une année ou deux de service.

FABRICATION DES DIFFÉRENTES SORTES DE VERRES.

Connaissant maintenant les propriétés générales des verres, nous pouvons aborder la fabrication spéciale de chaque espèce de verres. Quelques détails historiques sur chacune d'elles ne paraîtront peut-être pas dénuées d'intérêt.

VERRES A VITRE.

Le verre à vitre est aujourd'hui d'un usage si général; son emploi pour clore nos habitations nous paraît si nécessaire, qu'il semble que sa fabrication doive remonter à une époque fort reculée. Néanmoins il n'en est pas ainsi. Il n'est pas établi qu'il ait été connu des Grecs et des Romains longtemps avant l'ère chrétienne. Au troisième siècle, on commença à l'employer dans la construction des églises; mais jusqu'au septième siècle on n'en faisait usage que sous forme de petites pièces rondes qu'on désignait sous le nom de *cives*. Au douzième siècle, la peinture sur verre fut inventée; les premières vitres furent peintes pour l'abbaye de Saint-Denis, dont la dédicace, faite par l'abbé Suger, date de l'année 1140.

L'usage des vitres pour les habitations particulières ne remonte qu'au quatorzième siècle.

On se servait toujours de petits carreaux enchâssés dans des plombs. Il est vraisemblable que la cherté des vitrages, jointe aux exigences de notre climat, n'a pas été sans influence sur les constructions du moyen âge, dont les ouvertures sont en général petites. L'usage des vitres d'un seul morceau ne devint général que sous le règne de Louis XIV.

En Angleterre, pays dont le climat fait si bien apprécier l'utilité du verre à vitre, la fabrication de ce verre ne remonte qu'au septième siècle; les carreaux de vitre étaient encore rares et précieux il y a deux siècles. En Écosse, en 1661, on n'en voyait qu'aux chambres principales des habitations du roi.

Dans un règlement daté de 1567, fait par l'intendant du duc de Northumberland, on lit ce qui suit : « Et parce que dans les grands « vents, les vitres de ce château et des autres châteaux de mon- « seigneur se détériorent et se perdent, il serait bon que toutes « les vitres de chaque fenêtre fussent démontées et mises en sûreté « lorsque Sa Seigneurie part; et si, à quelque moment, Sa Sei- « gneurie ou d'autres séjournent à aucun desdits endroits, on « pourrait les remettre, sans qu'il en coutât beaucoup, tandis qu'à « présent le dégât serait très-coûteux et demanderait de grandes « réparations. »

A la fin du dix-huitième siècle, il existait encore, sous le nom de *châssissiers*, une corporation qui avait pour profession de garnir les fenêtres de carreaux de papier huilé. Ce métier est décrit avec l'art du vitrier dans un volume de l'*Encyclopédie méthodique* publié en 1791.

Deux procédés sont mis en œuvre pour fabriquer le verre à vitre. Les Vénitiens et les Bohêmes se sont servis *du procédé des cylindres* pour les vitraux du douzième et du treizième siècle; l'autre procédé, celui *du verre en couronne*, était employé vers la même époque dans les verreries de la Normandie, d'Angleterre et du nord de l'Allemagne. Ce dernier est depuis longtemps abandonné en France; il existe encore en Angleterre, et, tout en perdant chaque année de son importance, il fournit encore environ le quart du verre à vitre qu'on fabrique dans ce pays.

Le procédé des cylindres fut importé en France, à Saint-Quirin, par Drolenvaux, qui fit venir de la Bohême des ouvriers habitués à ce genre de travail. On lit à ce sujet dans l'*Encyclo-*

pédie : « Enfin, M. Drolenvaux obtint du roi la permission d'éta-
« blir une verrerie à Saint-Quirin (en Vosges), près Sarrebourg.
« Il annonça son verre blanc en table supérieur, à tous égards,
« à celui qui venait de Bohême, comme étant plus beau, c'est-à
« dire d'une surface plus unie, moins onduleux, plus dur, c'est-
« à-dire, comme il l'explique lui-même dans le tarif qu'il a rendu
« public, nullement sujet à se rayer et à se calciner à l'humidité
« et au soleil, et du double plus épais. L'effet justifie ses enga-
« gements, et, depuis qu'il en fabrique, il est peu de personnes
« tant soit peu aisées qui ne placent dans leurs chambres des
« estampes montées sous verre. » (*Art du vitrier,* 1791.)

Procédé des cylindres ou des manchons. La fabrication du verre à vitre tend à se concentrer à proximité des exploitations houillères; en France, elle est très-importante dans le Nord et sur le bassin houiller de la Loire: dans le Nord, elle occupe vingt-cinq fours à huit creusets; en Belgique, il existe dans la province de Charleroi trente-sept fours de même importance. Chaque four produit par mois 100,000 kilog. de verre.

La fabrication du verre à vitre au bois ne se maintient plus que dans un petit nombre de localités. Le combustible minéral, employé dans les conditions les plus favorables en France et en Belgique, entre déjà pour 30 à 40 p. °/₀ dans le prix de revient de cette sorte de verre. Le prix de revient du verre fabriqué avec le bois est notablement plus élevé.

Les matières premières sont ordinairement employées dans les proportions suivantes :

Sable	100	parties.
Sulfate de soude	30	—
Calcaire	30	—
Coke pulvérisé	5	—
Bioxyde de manganèse	2	—

On ajoute au mélange une quantité variable de ***groisil***. On désigne sous ce nom, pour toutes les espèces de verre, les déchets de verre qui résultent du travail des pièces, déchets qui, outre qu'ils sont ainsi utilisés, facilitent la foule des matières neuves qu'on introduit dans les pots.

Le calcaire (carbonate de chaux) dont on se sert dans le Nord

et en Belgique, et qui vient de ce dernier pays, est souvent remplacé par la chaux éteinte, employée dans la proportion de 25 à 30 parties.

Le bioxyde de manganèse (qu'on appelle dans les verreries le manganèse) a pour objet de corriger la teinte verdâtre que présentent ordinairement les verres, surtout ceux à base de soude. On attribue généralement cette coloration aux petites quantités d'oxyde de fer que renferment les matières premières dont on fait usage. Elle serait due au silicate de protoxyde de fer, qui, existant en plus forte proportion dans le verre à bouteille, en constitue le principe colorant. L'oxyde de manganèse, connu depuis bien longtemps, à cause de cette propriété, sous le nom de *savon des verriers*, agirait comme agent d'oxydation, en suroxydant le silicate de protoxyde de fer, et en produisant un sel de sesquioxyde dont la coloration jaune est beaucoup moins intense. Il est plus probable que cet oxyde est utile pour produire une coloration rosée qui, en s'ajoutant comme couleur complémentaire à la teinte verte, donne un verre sensiblement incolore. C'est un effet analogue à celui qu'on obtient avec une dissolution rose de cobalt, qu'on mélange avec une dissolution verte de sulfate de protoxyde de fer; on sait que ces deux liqueurs donnent par leur mélange, dans des proportions convenables, un liquide entièrement dépourvu de couleur.

Le bioxyde de manganèse est un colorant très-énergique qui, ajouté en proportion un peu plus forte, donnerait du verre rose, violet et même noir. Aussi a-t-on soin de l'employer toujours en très-minime quantité.

Souvent aussi on ajoute de l'acide arsénieux en poudre à la composition, pour en faciliter la fonte. En Belgique, on a renoncé à cette addition, en n'introduisant dans les pots que des matières finement pulvérisées et blutées.

Voici la composition de quelques échantillons de verre à vitre :

Silice.	69.6	—	71.9
Chaux.	13.4	—	13.6
Soude.	15.2	—	13.1
Alumine.	1.8	—	0.6
Oxyde de fer.	traces.	—	0.6
Oxyde de manganèse.	traces.	—	0.2
	100.0	—	100.0

Dans les verreries de la Loire, on introduit dans les pots, qui sont au nombre de huit, et qui sont chauffés dans des fours rectangulaires, 450 kilog. de matière brute, dosée à peu près dans les proportions indiquées ci-dessus. Cette *composition* donne 350 à 280 kilog. de verre, dont la fonte dure quinze heures et demie.

L'enfournement des matières se fait en trois fois : la première exige, pour fondre, sept heures de feu; la deuxième, quatre heures; la troisième, trois heures. La fonte et l'affinage étant terminés, on laisse tomber le feu pendant une heure et demie avant de commencer le soufflage. On fait dix-huit à vingt fontes par mois. On consomme 480 hectolitres de houille pour la fonte et le travail.

On fait par pot 200 à 225 manchons ou canons pesant $1^k.640$ à $1^k.940$ non rognés; le poids des manchons rognés est de 820 à 970 grammes.

En Belgique et dans le nord de la France, on se sert de creusets ovales A (fig. 4), placés sur les banquettes de manière que leur grand axe soit perpendiculaire à la grille du four; ils occupent ainsi une place moins considérable.

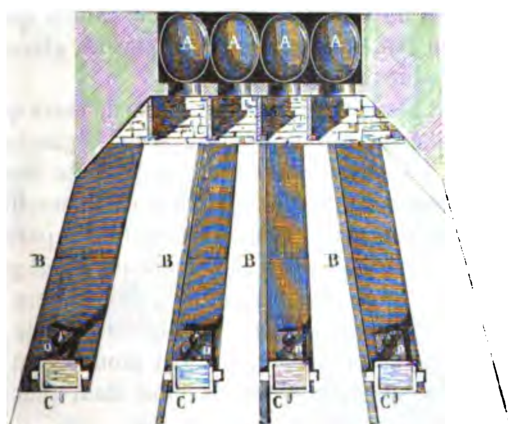
Chaque pot reçoit 600 kilog. de composition. Pour fabriquer 100 kilog. de verre, on consomme 600 kilog. de houille. Le prix de revient à Aniche (Nord), est d'environ 40 fr. les 100 kilog., d'après les documents donnés au Conseil supérieur du commerce à l'occasion du traité de commerce avec l'Angleterre; il serait de 32 fr. 80 en Belgique, et de 29 fr. 60 en Angleterre. La différence est due au prix de la houille et du sulfate de soude, qui est, comme on sait, moins élevé en Belgique et surtout en Angleterre qu'en France.

Le verre étant fondu, affiné, écrémé et amené par un refroidissement convenable à l'état de consistance pâteuse, le travail commence. Devant chaque creuset se trouve un plancher en bois B qui repose sur des pieux en bois ou sur des piliers en fonte ou en pierre; cette estrade se trouve à $2^m.5$ ou 3 mètres au-dessus du sol de la halle.

Chaque *place* est desservie par un souffleur et un aide qu'on désigne dans toutes les verreries sous le nom de *gamin*.

Le travail du verre, en général, se fait presque toujours en soufflant les pièces avec un cylindre de fer creux qu'on appelle *canne*.





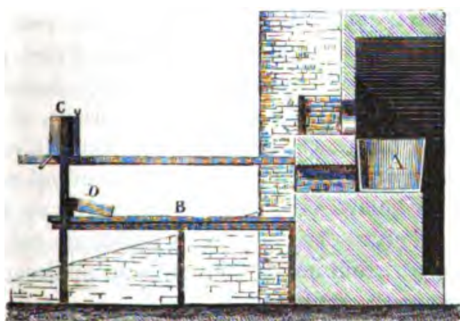


Fig. 4.

La canne est un tube creux en fer, terminé par une partie renflée (le nez de la canne), avec une enveloppe en bois placée près de l'autre extrémité, à une petite distance de l'embouchure. Ce manchon permet à l'ouvrier de manier cet outil sans se brûler.



Fig. 5.

Les cannes sont de dimensions variables, selon le poids des pièces qu'elles servent à produire. Celles qui servent à souffler les petites fioles dont on détache le fond pour faire les verres de montre ont moins de 1 mètre de longueur; tandis que les cannes employées en Bohême dans les fabriques de glaces soufflées sont longues de plus de 3 mètres.

La canne étant bien propre, bien exempte de verre qui y restait adhérent et étant échauffée au petit ouvreau, le gamin la plonge dans le creuset. A la surface du verre fondu flotte une couronne en argile qui permet d'éviter les filandres et de cueillir, dans la partie centrale du creuset, du verre bien affiné. Il pare son verre en tournant sur une plaque de fer la canne qui en est garnie, puis il la plonge de nouveau dans le creuset, de manière à avoir la quantité de verre nécessaire pour la confection de la pièce.

La paraison est arrondie par un lent mouvement circulaire qu'on donne à la canne, la masse vitreuse étant placée dans un bloc creux de bois mouillé D; puis la pièce, préalablement réchauffée à l'ouvreau, passe dans les mains du souffleur. Celui-ci souffle légèrement d'abord, en étirant un peu la masse vitreuse, de manière à lui donner la forme d'une poire; il balance sa canne, puis il la relève de manière à ramasser le verre; il souffle plus fortement, à plusieurs reprises, et lui imprime un mouvement de va-et-vient, comme celui d'un battant de cloche, de manière à allonger la pièce, qui prend une forme cylindrique; il la relève vivement au-dessus de sa tête, puis lui fait subir un mouvement complet et rapide de rotation, dans le but de l'allonger, tout en lui donnant une épaisseur égale dans toutes ses parties.

Quand le cylindre est fait, le souffleur reporte la pièce à l'ouvreau, de manière à en bien ramollir le bout; quand il est suffisam-

ment chaud, il est percé avec une pointe de fer. Par le mouvement de balancement, l'ouverture s'agrandit; on pare la pièce avec une sorte de planche en bois; les bords s'écartent, et la calotte qui terminait le cylindre se trouve effacée. Autrefois on ouvrait le cylindre en appliquant au centre de la calotte du verre très-chaud, puis en fermant avec le doigt l'embouchure de la canne; la dilatation de l'air intérieur, augmentée en chauffant à l'ouvreau l'extrémité du cylindre, faisait éclater le verre dans la partie la plus chaude; avec des ciseaux en fer à long manche, on égalisait le verre de manière à obtenir le cylindre ouvert. Ce mode de procéder entraînait une plus grande perte de verre.

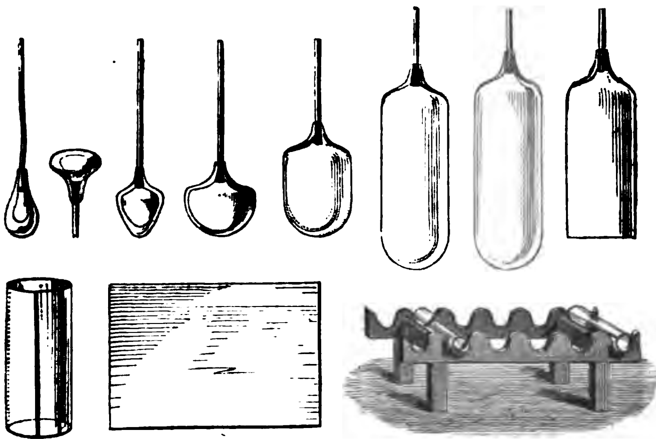


Fig. 6.

La figure ci-dessus représente les différentes phases de la fabrication des manchons.

Pour les pièces de grandes dimensions, telles que les cylindres et les globes pour pendules ou autres objets, on emploie souvent un outil auxiliaire qui permet de comprimer vivement une masse d'air suffisante pour souffler la pièce. C'est un petit cylindre en laiton (fig. 7), fermé par un bout, dans l'intérieur duquel se trouve un ressort à boudin en fer; à sa partie inférieure est une sorte de piston en bois avec ouverture garnie de cuir, retenu par une fermeture à baïonnette percée d'un trou. L'embouchure de la canne, celle-ci étant tenue verticale, étant mise en contact avec le piston,

on comprime par un mouvement brusque qu'on donne au ressort l'air contenu dans le cylindre, et on injecte cet air dans la pièce qu'on veut fabriquer.

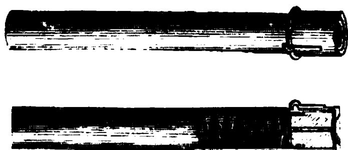


Fig. 7.

Cette pompe a été inventée en 1824 par un ouvrier souffleur de Baccarat, nommé Robinet, qui, devenant vieux et malade, remplaça par cet outil très-simple les poumons qui lui faisaient défaut. La Société d'encouragement accorda à cet inventeur une médaille d'or, et l'administration de Baccarat lui fit une pension. Cet outil est connu sous le nom de *pompe de Robinet*.

Revenons à la fabrication des cylindres par la méthode ordinaire du soufflage.

La confection d'un cylindre ouvert à son extrémité et adhérent à la canne se fait en 8 à 9 minutes.

Le cylindre, devenu rigide, est posé sur un chevalet en bois (fig. 6). On touche avec une tige de fer froide le nez de la canne ; celle-ci se détache aussitôt de la pièce de verre dont la calotte est enlevée en enroulant un fil de verre très-chaud et en touchant la partie ainsi chauffée avec un fer froid. On a donc ainsi sur le chevalet un manchon ouvert des deux bouts. On le fend dans sa longueur en promenant dans son intérieur, sur la même arête, une tige de fer rougie; un des points chauffés étant mouillé avec le doigt, le verre éclate. On arrive au même résultat en se servant d'un diamant attaché à un long manche qu'on guide à l'intérieur du manchon en suivant une règle en bois. Ce mode d'opérer, usité en Belgique, donne une cassure plus droite, et, par suite, produit moins de déchet.

Les verres à vitre cannelés se font exactement de la même façon, avec cette différence qu'au commencement du travail, quand la paraison présente la forme allongée d'une poire épaisse, on la souffle dans un moule en fonte ou en bois qui imprime les cannelures; celles-ci se reproduisent sur le verre et se conservent pendant le restant du travail.

C'est par un artifice tout aussi simple qu'on obtient les cylindres aplatis, souvent de très-grande dimension, qui servent à couvrir les pendules. Quand la pièce est arrivée à un certain volume, on termine le soufflage après l'avoir emprisonnée dans une caisse rectangulaire, grossièrement faite avec des planches de bois. Le verre s'étend en s'aplatissant contre l'obstacle qu'il rencontre, et prend la forme d'un cylindre plus ou moins écrasé sur deux de ses côtés.

Étendage des cylindres ou canons. Il s'agit maintenant, pour avoir une feuille plane de verre à vitre, de ramollir les cylindres fendus de manière à ce que les bords, en s'affaissant, produisent par une sorte de laminage une feuille de verre.

Il existé plusieurs systèmes de *fours à étendre*. Le plus simple et le plus ancien consiste en une sorte de four à réverbère, chauffé par la flamme d'un foyer latéral et divisé en deux chambres contiguës, A et B (fig. 8), qui sont séparées par un mur

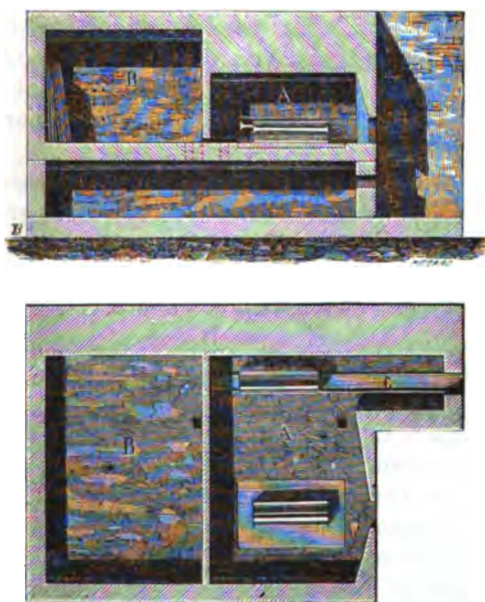


Fig. 8.

qui s'étend depuis la voûte jusqu'à la sole. Au bas de ce mur

se trouve une ouverture de 1 mètre de largeur sur 10 centimètres de hauteur; elle est destinée au passage des vitres planées.

Ce four étant chauffé au rouge sombre, on y introduit les manchons par une galerie latérale *c* dans laquelle ils cheminent lentement, l'un poussant l'autre. Celui qui arrive vers le centre est déjà rouge. Amené à l'aide d'une longue tige de fer sur le *lagre*, qui est une feuille de verre épaisse ou une plaque de terre réfractaire, ses deux bords s'écartent et s'affaisent sous la légère pression exercée sur eux avec une perche de bois; un rabot en bois ou polissoir, qu'on promène à sa surface, achève de planer la feuille; celle-ci est aussitôt poussée dans le second compartiment B dont la température est moins élevée. Lorsqu'elle est suffisamment rigide, elle est placée de champ, au moyen d'une fourche en fer, contre la paroi du four. On a soin de disposer, de distance en distance, des barres de fer pour appuyer de nouvelles vitres, afin que celles-ci ne chargent pas trop celles qui les ont précédées. Quand le four est plein, on enlève le combustible, on en bouche toutes les ouvertures et on le laisse refroidir pendant plusieurs jours. C'est ainsi que ces verres sont *recuits*.

Le verre étendu dans ce four, dit à *pierre fixe*, est ordinairement *griffé* et d'une mauvaise planimétrie.

Dans quelques verreries on emploie un four divisé en quatre compartiments par des cloisons fixes qui s'arrêtent à 10 centimètres de la sole; celle-ci est circulaire et tournante; l'étendage se fait alternativement sur chacun des segments de la sole qui arrive libre devant l'ouvrier, après qu'on a enlevé la feuille précédemment produite. Cet appareil, qui est continu, réalise une grande économie de temps; mais il exige des réparations fréquentes et il dépense beaucoup de combustible.

Sur la surface du *lagre* on projette un peu de gypse ou de sulfure d'antimoine moulu très-fin, dans le but d'empêcher l'adhérence des vitres qu'on y étend; ou bien on jette de temps à autre sur le combustible une petite quantité de chaux, qui, entraînée avec les produits gazeux de la combustion, se répand dans le four et amène le même résultat.

Les fours à pierres fixes donnent, en général, du verre mal étendu; les fours à pierres tournantes ont le même défaut. Aussi emploie-t-on aujourd'hui généralement les fours *à pierres rou-*

lantes. La figure ci-jointe représente celui dont on se sert le plus en Belgique.

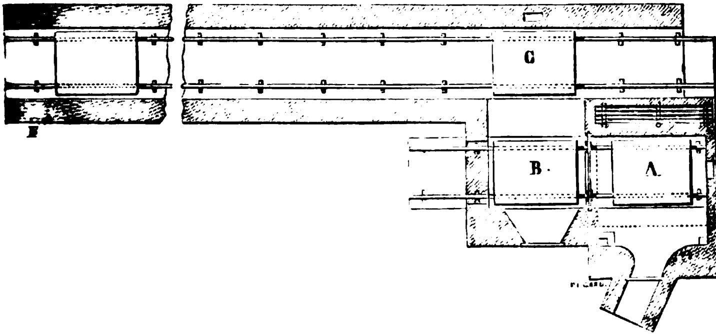


Fig. 9.

Dans ce four ou *stracou*, le verre est étendu sur la plaque mobile A, les manchons arrivant par la galerie qui débouche dans ce compartiment du four. La plaque, munie de sa feuille de verre, est poussée sur les rails dans l'autre partie du four qui est moins chaude; elle y occupe la place B. Le verre étant assez froid, on l'enlève avec une longue fourche en fer et on le dépose à plat sur un chariot en tôle C, qui reçoit 8 à 12 feuilles. Ce chariot se meut également sur des rails dans une galerie à recuire d'une longueur de 15 à 20 mètres. Les chariots sont reliés les uns aux autres par des crochets; ils entrent vides par l'ouverture placée près de la grille, se remplissent en G, et sortent pleins et froids à l'autre extrémité.

Le four à pont mouvant de M. Segard, d'Anzin, se compose essentiellement de deux chariots, qui portent chacun une pierre à étendre. La disposition générale du four étant la même que celle représentée fig. 9, le dessin ci-dessous ne donne que les deux pierres roulantes et le mécanisme pour les manœuvrer.

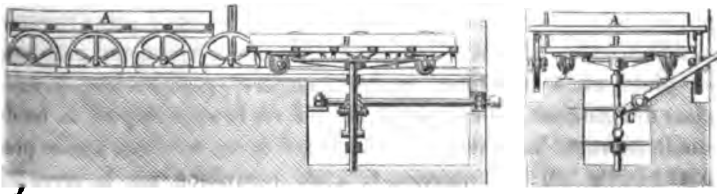


Fig. 10.

Le chariot A, portant sa pierre à étendre, se meut sur des roues fixes au moyen de rails qui y sont adaptés. Le chariot B, qui a aussi sa pierre, se trouve à 15 centimètres au-dessous du chariot A, sous lequel il doit passer; il se meut au moyen de ses roues.

Pour étendre les canons, on renvoie le chariot B dans le four à refroidir; on fait l'étendage sur le chariot A. Aussitôt qu'il est terminé, on pousse ce chariot avec un crochet dans le second compartiment. Le chariot B revient; avec un levier en fer C, on l'élève de 15 centimètres avec la plate-forme sur laquelle il est venu se placer.

On y place le canon à étendre : pendant qu'il s'ouvre, on enlève avec une fourche la feuille qu'on vient d'étendre pour la poser sur un chariot en tôle qui se trouve dans la galerie contiguë.

Le nouveau manchon étant étendu, on abaisse le chariot sur ses rails, on le renvoie dans le four à refroidir, et on amène par-dessus le chariot supérieur A sur lequel on étend une autre feuille de verre.

Par ce système on étend 600 canons par 24 heures, avec une consommation de 10 hectolitres de houille; ce travail est fait par deux étendeurs, deux tireurs de chariot et deux enfants. La dépense est moitié de ce qu'elle est avec le four à une seule pierre roulante.

M. Binet, de Sèvres, dispose au-dessus de la pierre à étendre un plateau mobile en terre réfractaire, s'élevant et s'abaissant au moyen d'un bras de levier et d'une tige qui traverse la voûte. Le poids de cette plaque rend le verre bien plan. Ce mode d'opérer est surtout avantageux pour les verres doubles et pour les glaces soufflées : pour polir ces verres on n'enlève que le quart de leur épaisseur; on enlève le tiers ou la moitié quand le verre est étendu dans les autres fours.

Fabrication du verre à vitre en plateaux. Le verre en plateaux, en plats, ou à boudines ou bien encore en couronne (*crown-glass* des Anglais), n'est plus fabriqué en France depuis la fin du siècle dernier. La dernière verrerie qui en ait fait était située près d'Abbeville, en Normandie. Il a été remplacé par le verre fait par le procédé des cylindres. Celui-ci offre, en effet, sur le verre

en plateaux des avantages nombreux ; ses dimensions sont beaucoup plus grandes; son épaisseur est plus égale; l'équarrissage et la division des feuilles ne produit que peu de déchet; sa planimétrie est beaucoup meilleure. Le verre en plats est toujours plus épais dans la partie qui avoisine le centre du plateau dont on l'a tiré que sur les bords; le noyau auquel adhérait le pontil est assez saillant pour entraîner à lui seul un déchet considérable; en outre, la surface de chaque carreau est toujours plus ou moins gauche, plus ou moins ondulée, ce qui tend à déformer les objets qu'on regarde à travers les carreaux de vitres qu'il fournit. D'un autre côté, il faut reconnaître que l'éclat de ce verre est toujours plus grand que celui du verre fait par le procédé des cylindres, ce dernier étant plus ou moins rayé, martelé, sali ou dévitrifié par l'étendage qu'on lui a fait subir. Le brillant et la propreté des vitrages sont remarqués par toutes les personnes qui vont en Angleterre. Ces qualités, jointes à la fabrication défectueuse du verre en manchons telle qu'elle exista longtemps en Angleterre, expliquent la préférence que les Anglais accordèrent et accordent encore à leur *crown-glass*. Ce n'est, en effet, que depuis un assez petit nombre d'années que le verre en cylindres de belle qualité est fabriqué dans leur pays. Cette industrie y a été importée à la suite de la crise industrielle de 1848, par M. Bontemps, ancien directeur de la verrerie de Choisy-le-Roi, auquel l'art de la verrerie doit plusieurs perfectionnements importants. M. Bontemps a été pendant une dizaine d'années directeur des importantes verreries de MM. Chance, de Birmingham.

Les matières premières qu'on emploie pour fabriquer le verre en plats sont les mêmes que pour le verre à vitre ordinaire. La disposition des fours et des creusets est également de même.

Lorsque la matière est convenablement fondue, affinée et écrémée par la séparation du fiel de verre, l'ouvrier commence le soufflage. Il cueille à plusieurs reprises avec sa canne assez de verre pour faire une pièce de dimension ordinaire. Il allonge sa paraison, il la roule sur une plaque de fer de manière à la rendre cylindrique, et il souffle pour lui donner la forme d'une poire. En chauffant la pièce et en soufflant de nouveau, il augmente ses dimensions et il lui fait prendre une forme sphérique. Une troisième chauffe, suivie d'une nouveau soufflage, augmente

son volume aux dépens de son épaisseur : puis le côté de la pièce sphérique opposé à la canne à laquelle elle adhère est écrasé par une pression exercée sur une surface plane en fer.

Une petite quantité de verre fondu étant ramassée à l'extrémité d'une tige de fer pleine, d'un *pontil*, est appliquée dans la partie centrale du côté aplati et fait adhérer la pièce dans sa partie opposée à la canne, le pontil se trouvant ainsi sur une ligne qui en est le prolongement. En touchant le verre avec un corps mouillé, près de son point de contact avec la canne, celle-ci s'en trouve séparée et y laisse une ouverture circulaire d'environ cinq centimètres de diamètre.

Le verre est de nouveau porté à l'ouvreau et réchauffé jusqu'à ce qu'il devienne suffisamment ductile pour le changement de forme qu'on va lui donner. L'ouvrier tourne alors avec adresse le pontil dans sa main, d'abord doucement, ensuite avec une vitesse qu'il accélère à mesure que la matière cède à l'action de la force centrifuge. Le diamètre de l'ouverture annulaire augmente rapidement; la pièce prend pendant quelques instants la forme d'une cloche de jardin très-évasée; puis, par ce mouvement continu et toujours plus rapide de rotation, cette forme s'évanouit, et la pièce, s'ouvrant entièrement, se trouve transformée en un large disque, ayant ordinairement 1 mètre 32 centimètres de diamètre; son épaisseur est presque uniforme, à l'exception de celle du centre auquel adhère le pontil; ce point présente une saillie ou bourrelet assez épais.

En tournant le centre du disque encore malléable dans une petite pièce annulaire en fer, qui lamine le verre autour du pontil, les Anglais sont parvenus à diminuer beaucoup le déchet qu'entraîne l'existence de cette saillie.

La fabrication de ces plateaux est, quand on en est témoin pour la première fois, l'un des spectacles les plus surprenants qu'on puisse voir. La force dépensée pour produire le plateau, surtout à la fin de l'opération, serait plus que suffisante pour briser le verre en mille fragments, si sa fragilité n'était pas neutralisée par la malléabilité qu'il doit à la température à laquelle il est travaillé.

Le plateau est détaché de son pontil par le contact d'un corps froid et enfourné horizontalement dans le four à recuire. La température de ce four doit être réglée avec beaucoup de soin; si

elle est trop élevée, le plateau gauchit; si elle est trop basse, il se brise.

Les plateaux recuits sont découpés en segments et équarris à l'aide du diamant. La partie centrale, munie de son bourrelet, fournit une pièce rectangulaire qui est refondue ou vendue à vil prix pour les vitrages les plus communs. Le déchet qu'entraîne le découpage des carreaux dans ces segments est nécessairement beaucoup plus considérable que celui que fournit le procédé des cylindres.

Autrefois les plateaux avaient au plus 0.76 de diamètre; on ne pouvait guère en tirer un carreau de plus de 40 centimètres sur 30 centimètres d'une épaisseur à peu près égale. Les perfectionnements introduits dans cette fabrication par les verriers anglais permettent d'obtenir couramment des plateaux d'un diamètre presque double. On voyait même à l'Exposition de Londres, en 1851, des plateaux de crown-glass ayant jusqu'à $1^{m}.72$ de diamètre.

Les détails que je viens de donner suffisent pour donner une idée de cette fabrication, qui n'a plus pour nous qu'un intérêt rétrospectif, malgré ses avantages au point de vue du brillant qu'elle conserve au verre. Faire des vitres joignant à l'éclat du verre en plateaux les dimensions et le bon marché du verre en cylindres est assurément l'un des problèmes les plus importants que l'art de la verrerie ait encore à résoudre.

Verres à vitre de couleur. Dans quelques usines, on joint à la fabrication du verre à vitre ordinaire celle des verres à vitre de couleur destinés à la peinture sur verre, aux vitraux pour les églises, à l'ornementation, etc.

Cette fabrication des verres colorés est très-ancienne. Il était beaucoup plus difficile autrefois de faire des verres blancs, qui exigent des matières premières pures, que de fabriquer des verres colorés. Aussi l'emploi des vitres de couleur a précédé celui des vitres ordinaires blanches.

Je n'entrerai dans aucun détail sur l'art, d'ailleurs si intéressant, de la peinture sur verre; la question artistique domine ici la question industrielle. Je rappellerai seulement qu'il est bien établi aujourd'hui qu'aucun secret de la peinture sur verre n'est perdu; que les fabricants de verre sont en mesure de satisfaire à toutes les

exigences des artistes, et même de leur fournir une foule de nuances dont leurs devanciers savaient, d'ailleurs, fort bien se passer. Si l'art de la peinture sur verre, si florissant au douzième et au treizième siècle, est tombé en décadence à partir du seizième; si, malgré de brillantes et rares exceptions, les artistes modernes ne parviennent pas à produire des œuvres ayant les grandes qualités des verrières anciennes, c'est beaucoup moins à l'absence de quelques procédés matériels qu'il faut s'en prendre qu'à celle de l'inspiration, du sentiment religieux qui planait sur ces époques et sur les œuvres d'art qu'elles ont produites.

Les verres à vitre de couleur sont de diverses sortes. Les uns présentent une coloration dans toutes leurs parties, ce sont les verres *colorés dans la masse;* les autres sont formés d'une couche très-mince de verre coloré superposée sur le verre incolore. On les désigne sous le nom de verres *plaqués*, *doublés*, ou *à deux couches*.

Enfin le verre blanc, le verre doublé dont une partie colorée a été enlevée au moyen de la roue de tailleur ou de l'acide fluorhydrique, reçoivent à la moufle des colorations variées. Ce sont les verres *peints*.

Les verres colorés dans la masse doivent offrir une teinte assez peu intense pour conserver de la transparence. On les obtient en ajoutant au verre ordinaire quelques centièmes d'oxydes colorants.

Le bleu se produit par l'addition de 1 à 3 p. 100 d'oxyde de cobalt ou de 6 à 8 p. 100 de safre. Le pouvoir colorant de l'oxyde de cobalt est tellement grand, que, pour avoir des verres transparents, on fait souvent des verres bleus doublés.

On fait un autre bleu pâle, dit du treizième siècle, avec l'oxyde de cuivre ajouté à un verre à vitre riche en alcali.

Le violet plus ou moins intense est fourni par 2 à 7 p. 100 d'oxyde de manganèse; on ajoute 1/2 à 1 p. 100 d'oxyde de cobalt pour avoir le bleu violacé. Une partie de l'alcali est introduite dans la composition sous forme de nitre.

Le verre jaune est coloré par l'oxyde d'antimoine ou par le charbon. Dans ce cas, on enfume le verre en ajoutant dans le creuset de l'écorce de bouleau ou de la corne en poudre. La matière organique, ainsi soumise à une température élevée, se décompose en laissant dans la masse vitreuse du charbon

très-divisé qui lui donne une couleur jaune plus ou moins orangée.

La coloration verte est fournie soit par l'oxyde de fer (vert bouteille), soit par le sesquioxyde de chrome (vert émeraude), soit par le bioxyde de cuivre dans un verre peu chargé de fondants alcalins.

Le verre rouge pourpre, qui joue un rôle essentiel dans les vitraux peints, était connu des anciens, car il entre dans la composition des beaux vitraux du douzième siècle; mais les procédés employés pour le faire ont été longtemps perdus, et l'on croyait, à la fin du siècle dernier, que cette coloration était due à des préparations d'or. Dans les temps les plus durs de notre première révolution, on envoya à la Monnaie de Paris des caisses de verre pourpre enlevé aux verrières du moyen âge, avec ordre d'en extraire l'or qu'on supposait y exister. D'Arcet démontra que ces verres ne contenaient que du cuivre, et sauva ainsi de la destruction beaucoup de beaux monuments de l'art chrétien.

C'est, en effet, au cuivre que ces verres doivent leur riche couleur. On admet que ce métal s'y trouve à l'état de protoxyde, mais il est possible qu'il y existe sous forme métallique, de même que l'or dans les verres rouges d'une autre espèce. Ce verre est toujours *doublé*, car, fait avec du verre coloré dans la masse, il ne serait pas transparent.

Pour fabriquer le verre pourpre, on fond, dans un pot de petite dimension, du verre avec addition de quelques centièmes d'un mélange d'oxyde de cuivre et de battitures de fer ou de fer très-divisé; quelquefois on n'ajoute au verre que du bioxyde de cuivre. On fait une petite paraison avec ce verre, puis, par-dessus, une autre plus considérable en plongeant la canne garnie de la première dans un pot contenant du verre blanc ordinaire. Le manchon est façonné par les procédés que j'ai déjà décrits. Quand il est ouvert, on l'expose à la flamme fumeuse de l'ouvreau. C'est à ce moment que la couleur rouge se développe, par suite de la réduction de l'oxyde de cuivre.

Ce verre, dont la fabrication n'a été retrouvée que depuis une trentaine d'années, offre souvent des marbrures, des inégalités de teinte. Il en est de même pour la plupart des verres colorés destinés à la peinture sur verre. Ces verres défectueux, convenablement employés, ajoutent à l'effet du dessin et du coloris; les

artistes les plus habiles les préfèrent aux verres d'une irréprochable uniformité de teinte.

Beaucoup des morceaux de verres qui entrent dans la composition d'un vitrail sont *peints* avec des couleurs de moufle; les oxydes colorants sont mélangés avec un fondant composé de quartz, d'oxyde de plomb et d'oxyde de bismuth. Le mélange, délayé dans l'essence, est appliqué sur le verre qui doit être très-siliceux. Celui-ci est chauffé dans une moufle à une température qui vitrifie les couleurs sans altérer le verre.

FABRICATION DES GLACES.

Glaces soufflées. L'emploi du verre étamé ou argenté, des glaces, n'était pas connu des anciens. Ils ne connaissaient que les miroirs métalliques, fabriqués avec un alliage de cuivre et d'étain qui recevait par le travail un beau poli.

C'est à Venise que furent faits les premiers miroirs en verre. Cette fabrication remonte à une époque très-reculée. Ces miroirs étaient soufflés en cylindres, comme le verre à vitre, étendus, dégrossis, polis et étamés. Les Vénitiens produisaient ainsi des glaces biseautées d'une assez grande dimension, remarquables par la blancheur et la pureté du verre, glaces qu'on recherche encore aujourd'hui, plutôt, il est vrai, à cause de leur ancienneté ou de l'élégance de leur encadrement, que pour la qualité du verre.

Venise conserva longtemps le monopole de cette fabrication, qui ne cessa, pour la France, que sous le règne de Louis XIV. C'est, en effet, sous le ministère et avec les encouragements de Colbert, que fut fondée la première fabrique de glaces en France. Ce ministre fit venir, à grands frais, des ouvriers français qui travaillaient dans la manufacture de glaces de Murano, près de Venise; il fit accorder, en 1665, le privilége exclusif, pour vingt années, de doucir et de polir les plats de verre blanc au premier établissement de glaces soufflées, établi à Tourlaville, près Cherbourg, sous la direction du sieur Poquelin, marchand mercier à Paris.

En 1683, ce privilége fut prorogé pour trente ans, sous le nom de Pierre Bagneux : mais il y fut dérogé, en 1684, par des lettres patentes, au profit de plusieurs maîtres de verreries.

On sait que ceux qui exerçaient l'art de fabriquer le verre avaient reçu de nos rois d'importants priviléges, notamment celui de ne pas déroger à leur noblesse. « Les ouvriers qui travaillent à ce bel et noble art, dit Haudicquer de Blancourt, sont tous gentilshommes, et ils n'en reçoivent aucuns qu'ils ne les connaissent comme tels. » Néanmoins cette industrie, comme l'explique le même auteur, n'anoblissait pas celui qui l'exerçait : seulement elle ne lui faisait pas perdre, comme cela arrivait pour d'autres professions, sa qualité de noble.

Les produits de Tourlaville furent d'abord accueillis avec faveur; mais ce succès ne devait pas être de longue durée. La découverte du procédé de coulage des glaces, qui fait époque dans l'histoire de l'industrie du verre, était faite et mise en pratique dès l'année 1688. Ce procédé devait éteindre peu à peu la fabrication des glaces soufflées en France.

Néanmoins cette industrie, qui, de Venise avait été transplantée en Bohême où elle reçut de grands perfectionnements, se maintient encore aujourd'hui en Allemagne. Les Bohêmes font ainsi des glaces d'un assez grand volume. J'ai vu, en 1845, à l'Exposition de Vienne, une glace soufflée de 2m.16 de hauteur sur 1m.10 de largeur. Pour faire une glace de cette dimension, assez épaisse pour être polie, il avait fallu manier et souffler une masse de verre pesant environ 100 kilogr. Aussi ce travail exige-t-il des moyens auxiliaires particuliers et des ouvriers d'une habileté et d'une force exceptionnelles. Je ne le décrirai pas, attendu qu'il ne donne que des produits d'une qualité très-inférieure, surtout au point de vue de la planimétrie. Confiné dans quelques fabriques allemandes, il alimente une consommation toute locale et il est destiné à disparaître devant les traités de commerce et la concurrence des glaces coulées.

Il existe, en Bavière, à Furth, à Nurenberg, etc., plusieurs fabriques de petites glaces soufflées; ce sont des feuilles de verre à vitre assez épaisses pour être soumises aux procédés mécaniques de dégrossissage et de polissage. Ces miroirs, dits de Nurenberg, sont, en général, en verre bien affiné, mais d'une teinte assez verte : ils se vendent à très-bon marché; néanmoins la baisse de prix des glaces coulées rend leur fabrication de plus en plus restreinte.

MM. Chance fabriquent à Birmingham des verres à vitre épais

faits par le procédé des cylindres, puis dégrossis et polis par des procédés économiques qu'ils ont créés. Ces verres sont employés en concurrence de la glace coulée pour les vitrages de luxe, pour les encadrements, les miroirs, etc. On les désigne en Angleterre sous le nom de *patent plates*. Cette sorte de verre manque chez nous; elle serait surtout recherchée par les photographes, à cause de sa minceur et de sa planimétrie.

Fabrication des glaces coulées. L'industrie des glaces coulées est d'origine française; elle date de cent soixante-quinze ans environ; elle a donné lieu à la création de la glacerie de Saint-Gobain, l'une des manufactures les plus belles et les plus importantes du monde.

On croit généralement que le coulage des glaces a été inventé par Abraham Thévart : des recherches faites dans les archives de la compagnie de Saint-Gobain, qui sont d'accord avec les traditions conservées chez quelques anciens ouvriers de cette usine, établissent que l'inventeur de ce procédé est Lucas de Nehou, propriétaire d'une verrerie à Tourlaville, et l'un des premiers directeurs de Saint-Gobain. Abraham Thévart n'a été que le prête-nom d'une société de capitalistes qui obtint, en 1688, un privilége de trente années pour exploiter le nouveau procédé.

La compagnie des glaces soufflées de Tourlaville ne vit pas sans jalousie le privilége accordé à la nouvelle société; il s'éleva bientôt des contestations sur l'étendue du privilége de chacune d'elles, surtout à cause de la lacune qui existait entre la grandeur de 45 pouces, terme des plus grandes glaces soufflées, et celle de 60 pouces sur 40 à laquelle commençait le privilége des glaces coulées; d'ailleurs ces dernières, venant à se briser, donnaient des morceaux dont les propriétaires voulaient profiter. Ces difficultés ne furent terminées que par la réunion des deux établissements rivaux, qui eut lieu en 1695. Dès 1691, les ateliers de coulage, établis à Paris rue de Reuilly, avaient été transportés à Saint-Gobain, dans le département de l'Aisne; le travail mécanique de glaces brutes, c'est-à-dire le dégrossissage et le polissage, était seul conservé à Paris. On y soumettait au même travail les glaces soufflées de Tourlaville.

Ces arrangements ne produisirent pas les effets qu'on en at-



tendait, et les affaires des deux compagnies réunies tombèrent en 1701 dans une telle décadence, que les ouvriers se dispersèrent et allèrent porter à l'étranger l'art du coulage des glaces. On s'empressa néanmoins de les rappeler en fondant une nouvelle société, avec privilége exclusif octroyé par lettres patentes en 1702, à Antoine Dagincourt et Cie. C'est de cette époque que date l'ère de prospérité, depuis non interrompue, de la manufacture de Saint-Gobain.

Néanmoins pendant cinquante ans, les produits de cette usine laissaient encore beaucoup à désirer, aux dires de Drolenvaux, maître de la verrerie de Lettenbach, près Saint-Quirin, et de Bosc d'Autic, auquel on doit des travaux intéressants sur l'art de la verrerie, et qui fonda, il y a un siècle environ, une manufacture de glaces à Rouelles, en Bourgogne.

En 1756, Pierre Deslandes, directeur de Saint-Gobain, introduisit dans la fabrication de notables perfectionnements; c'est lui qui substitua aux soudes brutes d'Alicante le sel de soude qu'il en faisait extraire, et qui ajouta de la chaux à la composition pour remplacer les matières terreuses que le lessivage en retirait. Plus tard, des savants éminents, Clément Desormes, Gay-Lussac, donnèrent successivement à cette usine leurs conseils pour la partie chimique de la fabrication, habilement dirigée aujourd'hui par MM. Pelouze, Lacroix et Bivert.

La fabrication des glaces soufflées fut entièrement abandonnée au commencement de ce siècle; celle des produits chimiques fut établie sur une vaste échelle à Chauny, près Saint-Gobain.

La société de Saint-Gobain sut se conserver, pendant longtemps, le monopole de la fabrication des glaces en France, monopole qui n'a cessé, en réalité, que depuis un petit nombre d'années. Néanmoins son état prospère lui suscita à diverses époques des concurrences sérieuses; notamment celles des glaceries de Commentry et de Prémontré qui n'existent plus depuis nombre d'années. Au commencement de ce siècle, la verrerie de Saint-Quirin, après avoir fait en France les premiers verres à vitre par le procédé des cylindres, et avoir ajouté à cette fabrication celle des glaces soufflées qui lui ressemble beaucoup, entreprit, avec un plein succès, le coulage des glaces. Longtemps avant l'expiration du bail emphytéotique en vertu duquel elle avait en location, de 1740 à 1840, les domaines des

moines de Saint-Quirin, elle avait successivement transporté à Cirey la partie la plus importante de sa fabrication. Pendant vingt-cinq ans environ, les glaces de Saint-Gobain et de Cirey se firent concurrence; mais en 1830, les deux compagnies adoptèrent pour la vente de leurs produits le même tarif et le même dépôt; elles sont aujourd'hui fusionnées. Elles ont, en outre, établi à Manheim une glacerie qui leur permet de vendre leurs produits dans une partie de l'Allemagne, dans les états du Zollverein. Enfin, elles ont loué la glacerie fondée, il y a quelques années, à Aix-la-Chapelle.

Il existe actuellement en France trois autres manufactures de glaces; la glacerie de Montluçon (Allier) fondée depuis une vingtaine d'années; celles de Recquignies et Jeumont (Nord), créées depuis deux ans par les sociétés belges de Sainte-Marie d'Oignies et de Floreffe.

Une autre glacerie a été établie à Aniche (Nord), par M. Patoux; ses produits n'ont pas encore été livrés au commerce.

La fabrication des glaces coulées a pris, en Angleterre et en Belgique, un grand développement. Comme en France, elle est concentrée dans un petit nombre d'usines. Il ne saurait en être autrement, à cause des capitaux très-considérables qu'exige la création d'une fabrique de glaces, et de l'énorme quantité de produits qu'elle peut fournir par un travail régulier et sans chômage.

L'Angleterre est le pays qui fabrique et qui consomme la plus grande quantité de glaces, non pas comme miroirs, car ils sont rares, même dans les habitations somptueuses, mais comme vitrages. L'exportation des glaces anglaises est, en outre, considérable et se fait en concurrence des glaces françaises; celles-ci ont pour elles la qualité, les autres le bon marché.

On compte en Angleterre six fabriques de glaces coulées; la plus ancienne a été fondée en 1773, à Revenhead, près Sainte-Hélène, dans le Lancashire, à l'instar de Saint-Gobain. Les procédés de ce dernier établissement ont été d'ailleurs suivis, autant qu'on a pu le faire, dans toutes les glaceries qui ont été successivement établies en France et à l'étranger.

Cette usine de Revenhead présente cette particularité que, quand elle a commencé à travailler, les glaces qui, dès cette époque, ne se fabriquaient plus qu'à Saint-Gobain, étaient dé-

grossies et polies à la main. En 1788, la compagnie anglaise commanda à Boulton et à Watt, de Birmingham, une machine à vapeur qui paraît avoir été la seconde machine établie par ces célèbres constructeurs; l'année suivante, le travail mécanique remplaçait à Revenhead le travail manuel.

Il existe en Belgique deux manufactures de glaces; Sainte-Marie d'Oignies, fondée en 1840, et Floreffe dont la création remonte à l'année 1853. A chacune de ces usines est annexée une importante fabrique de produits chimiques.

Enfin, pour n'omettre aucune des glaceries existantes, je dois mentionner la manufacture de glaces établie près de Saint-Pétersbourg, appartenant à l'empereur de Russie. Je n'ai, d'ailleurs, aucun renseignement sur l'importance de cet établissement.

D'après les données fournies au Conseil supérieur du commerce à l'occasion de l'Enquête relative à l'exécution du traité de commerce avec l'Angleterre, la production des glaces, en 1860, était approximativement représentée par les quantités suivantes:

		Mètres superficiels.
France. — Cinq fabriques.	Saint-Gobain et Cirey........	200,000
	Montluçon...........	50,000
	Jeumont et Recquignies.......	55,000
Angleterre. — Six fabriques	....	350,000
Belgique. — Deux fabriques	....	110,000
Zollverein. — Manheim	....	70,000
		835,000

En France, la fabrication des glaces dispose d'un capital de 50 à 60 millions; la valeur des produits qu'elle fournit à la consommation française et étrangère est de 10 à 12 millions.

D'après M. Chevandier de Valdrôme, l'un des administrateurs de Saint-Gobain et de Cirey, le prix *vrai* des glaces est aujourd'hui de 60 pour 100 au-dessous de ce qu'il était il y a vingt ans; depuis dix ans, il a baissé de 40 pour 100. Depuis cinq ans, la baisse a été de 32 pour 100. L'excès de production serait la cause principale de ces diminutions rapides de prix. On fait actuellement en France 300,000 mètres de glaces. La consommation intérieure en prend 200,000 mètres; l'exportation, 45,000. Il reste 55,000 mètres qui forment le trop plein de cette industrie.

D'un autre côté, il faut reconnaître que sous l'empire de tarifs

moins élevés, la consommation a beaucoup augmenté. D'après des documents qui m'ont été fournis à l'occasion de l'Exposition universelle de Londres, en 1851 on fabriquait en Angleterre 200,000 mètres de glaces, et en France 90,000 mètres; en Belgique la fabrication n'atteignait pas 60,000 mètres. Ainsi, en dix ans, la production des glaces a augmenté dans le rapport de 100 à 244.

Il n'est pas douteux qu'avec le régime nouveau inauguré par les traités de commerce avec l'Angleterre et la Belgique et sous l'influence des habitudes de propreté et de luxe qui se répandent de plus en plus, la consommation des glaces, surtout pour les vitrages, continuera à suivre une marche progressive.

Fabrication des glaces. — Les éléments essentiels du verre à glaces sont : la silice, la chaux et la soude.

Le verre de Saint-Gobain est actuellement composé de :

Silice	73
Chaux	15.5
Soude	11.5
	100.0

Il est sensiblement représenté par 3 équivalents de silicate de chaux et 3 équivalents de silicate de soude.

Le verre qu'on fabriquait il y a quelques années renfermait généralement :

Silice	72
Soude	19.50
Chaux	8.50
	100.00

Ce changement de composition a eu pour résultat d'améliorer considérablement la qualité des glaces. Le verre est, à la vérité, plus difficile à fondre; mais il est moins alcalin et moins altérable par l'humidité; il a en même temps plus d'éclat et de dureté.

Les glaces anglaises fabriquées il y a une dizaine d'années étaient sensiblement de même nature que l'ancien verre de Saint-Gobain. Elles étaient et elles sont toujours beaucoup plus vertes.

Voici la composition du verre à glace de deux fabriques anglaises, échantillons que j'ai rapportés de Londres en 1851. Ces analyses ont été faites par M. Salvétat :

	N° 1.		N° 2.
Silice..............	75.2	—	74.5
Chaux	6.9	—	4.7
Soude	17.0	—	19.1
Alumine...........	0.6	—	1.5
Oxyde de fer.......	0.3	—	0.2
	100.0		100.0

Le mélange (composition) qu'on employait il y a quelques années dans les usines françaises et étrangères était le suivant :

Sable blanc..........................	300	parties.
Sel de soude marquant de 85 à 90°..	110 à 120	
Pierre calcaire.........................	50	
Calcin ou groisil (débris de glaces).........	300	

Dans quelques usines, la pierre calcaire est remplacée par 45 parties de chaux éteinte à l'air et tamisée.

En supposant que ces matières soient pures, on trouve par le calcul qu'elles doivent donner presque exactement la composition du verre anglais n° 1.

Aujourd'hui le dosage est modifié, et le sulfate de soude purifié a fait place, dans la plupart des glaceries, au sel de soude, dont le prix est notablement plus élevé. C'est là un perfectionnement qui date de ces dernières années.

Je ne connais pas le dosage actuel ; mais il est facile de le calculer avec les éléments qui précèdent. Il doit être à peu près comme il suit :

Sable..............................	300	parties.
Sel de soude..........................	80	
Pierre calcaire.........................	113	
Calcin..............................	300	

Quand le sulfate de soude est substitué au sel de soude, celui-ci doit être remplacé par 170 parties de sulfate de soude sec, auquel on ajoute probablement 6 à 8 pour 100 de charbon pulvérisé, soit 10 à 13 parties.

Ces proportions ne sont qu'approximatives : elles doivent

varier avec la pureté des matières premières qu'on emploie, et aussi avec l'allure du four, qui se modifie avec l'âge de ce four et avec la saison. Le tirage est plus actif, en général, pendant l'hiver que pendant l'été; par suite, dans cette dernière saison, on est conduit à augmenter un peu la dose de fondant alcalin. Dans tous les cas, il y a pendant la fonte une perte plus ou moins considérable d'alcali par volatilisation.

Le choix des matières premières exerce l'influence la plus directe sur la qualité des glaces.

Le sable doit être aussi blanc, aussi exempt de produits ferrugineux que possible. En France et en Belgique, on se sert des sables de Fontainebleau, ou des environs de Reims. En Angleterre, on emploie, pour les qualités courantes, des sables du pays qui sont toujours ferrugineux. De là surtout provient la teinte verte que présentent les glaces anglaises.

Ordinairement le sable est lavé à l'eau pour séparer les parties argileuses, calcaires, ferrugineuses qu'il renferme; quelquefois on ajoute à l'eau de l'acide chlorhydrique. On renouvelle le lavage jusqu'à ce que l'eau sorte parfaitement limpide. On fait ensuite parfaitement sécher le sable ainsi purifié.

Le sel de soude doit être à un degré alcalimétrique très-élevé. On n'emploie plus, bien entendu, que l'alcali provenant de la soude obtenue avec le sel marin par les procédés de Leblanc. Le sulfate de soude, qui depuis quelques années, a été substitué au sel de soude, ne peut pas être employé tel qu'on l'obtient directement en traitant le sel marin par l'acide sulfurique. On le raffine, en ajoutant à sa dissolution marquant 30 à 32° au pèse-sel de Beaumé, de la craie en poudre qui sature l'acide libre et qui précipite l'oxyde de fer qu'il peut contenir. Le liquide clair, soutiré avec un syphon, est évaporé, et les cristaux qui se forment pendant la concentration sont pêchés à l'écumoire et desséchés avant d'être introduits dans la composition.

Le calcaire doit être exempt d'oxyde de fer. Avant de le réduire en poudre, on le concasse et on en sépare les morceaux qui paraissent être ferrugineux. La couleur blanche du calcaire n'est pas toujours un indice de sa pureté. Les glaceries et les fabriques de verre à vitre de France et de Belgique se servent d'un très-bon calcaire saccharoïde, venant des environs de Namur, dont la teinte un peu grise est due à des substances organiques.

Ces différentes matières sont employées sèches et très-divisées, on les pèse à la bascule, on les mélange soigneusement à la pelle et on y ajoute la proportion voulue de calcin ou groisil en morceaux lavés et séchés.

Les fabriques de glaces ont besoin de très-vastes locaux, tant pour la fonte, le coulage et le recuit des glaces que pour leur polissage. Comme elles consomment une quantité considérable de sels de soude, la fabrication des produits chimiques, à Saint-Gobain et dans les usines belges, est annexée à celle des glaces.

La *halle*, dont la figure 11 donne la disposition générale, est un très-vaste bâtiment, contenant les fours de fusion, l'outillage pour le coulage et les carcaisses ou fours à recuire les glaces.

La forme des fours de fusion varie suivant les usines. En France, ils sont souvent rectangulaires; en Belgique, ils sont ronds ou plutôt elliptiques.

Le dessin ci-après et les détails dans lesquels je vais entrer, sont en partie empruntés à une intéressante publication de M. Valerio, ingénieur, ancien directeur de la glacerie d'Aix-la-Chapelle[1].

A l'exception de Saint-Gobain et de Cirey, qui doivent leur origine aux vastes forêts qui les environnent, et qui emploient concurremment le bois et la houille, toutes les autres usines, en France ou à l'étranger, se servent de la houille comme combustible.

Le four de fusion à douze cuvettes, représenté par le dessin, est elliptique et de système belge.

La grille, dont la largeur est de 0m.60, occupe toute la longueur du four, soit 5m.30. Autour de la grille, règne symétriquement une banquette ou siége sur laquelle sont placés les pots ou cuvettes renfermant les matières à fondre.

Douze ouvreaux, dont le seuil est au niveau de la banquette, servent à introduire et à sortir les pots. Ils sont fermés avec une grande brique qu'on nomme *tuile d'ouvreau*. Au-dessus de ces portes sont des ouvertures plus petites, qu'on ferme avec des

1. *Industrie des glaces*, par M. Valerio. Extrait de la *Revue universelle des mines, de la métallurgie*, etc., dirigée par M. de Cuyper, professeur à l'université de Liége. Livraisons de juillet 1857 et de janvier 1859.

plaques en terre réfractaire percées de plusieurs trous, qu'on nomme *pigeonniers*. En enlevant ces plaques, les ouvriers introduisent par ces ouvertures la composition dans les pots au moyen de pelles ayant la forme de boîtes carrées fixées à l'extrémité d'un long manche. Les trous du pigeonnier permettent de juger de la température du four; ils sont bouchés avec de la terre pendant une partie du temps nécessaire à la fonte.

La grille est découverte sur les deux tiers environ de sa longueur. A ses extrémités, elle passe sous une tonnelle ou voûte pratiquée dans le massif du siége. Au-dessous se trouve une voûte circulaire ou rond-point, à laquelle viennent aboutir quatre galeries qui se coupent à angle droit, pour amener l'air nécessaire à la combustion.

Des escaliers conduisent de la halle au rond-point, où l'ouvrier tiseur doit souvent descendre pour piquer son feu par-dessous. Le sol autour du four est formé de dalles en fonte, afin d'avoir une aire unie et résistante pour la manœuvre des cuvettes.

Toutes les briques ou pièces de l'intérieur du four sont en matériaux aussi réfractaires que possible. On construit ordinairement en briques crues, c'est-à-dire qui ne reçoivent la cuisson que par la mise en feu du four.

Le siége est d'un seul morceau; il est fait avec un mélange, dans les proportions convenables, de terre crue pulvérisée et de terre calcinée en gros grains. Ce mélange, légèrement humecté d'eau, est énergiquement pilonné avec des dames en bois; le battage peut seul relier entre elles toutes les parties qu'on ajoute par couches superposées et leur donner de l'homogénéité. A mesure que le siége se monte, on fait suivre une corde de chanvre arrêtée à un de ses bouts et servant de guide au travail; on la laisse emprisonnée dans la masse. Quand le four est achevé, on y fait un feu très-doux dans les premiers jours, sans quoi le siége, fait d'ailleurs avec de bons matériaux, serait promptement détruit. Lorsque la chaleur pénètre dans la masse, les cordes brûlent en laissant des vides qui facilitent le dégagement de l'humidité.

Quand le four est en activité, la flamme monte à la voûte du four, circule autour des cuvettes et s'échappe dans les petites cheminées, pratiquées dans l'intérieur des pieds droits du four, pour se rendre dans une grande cheminée centrale en tôle, A,

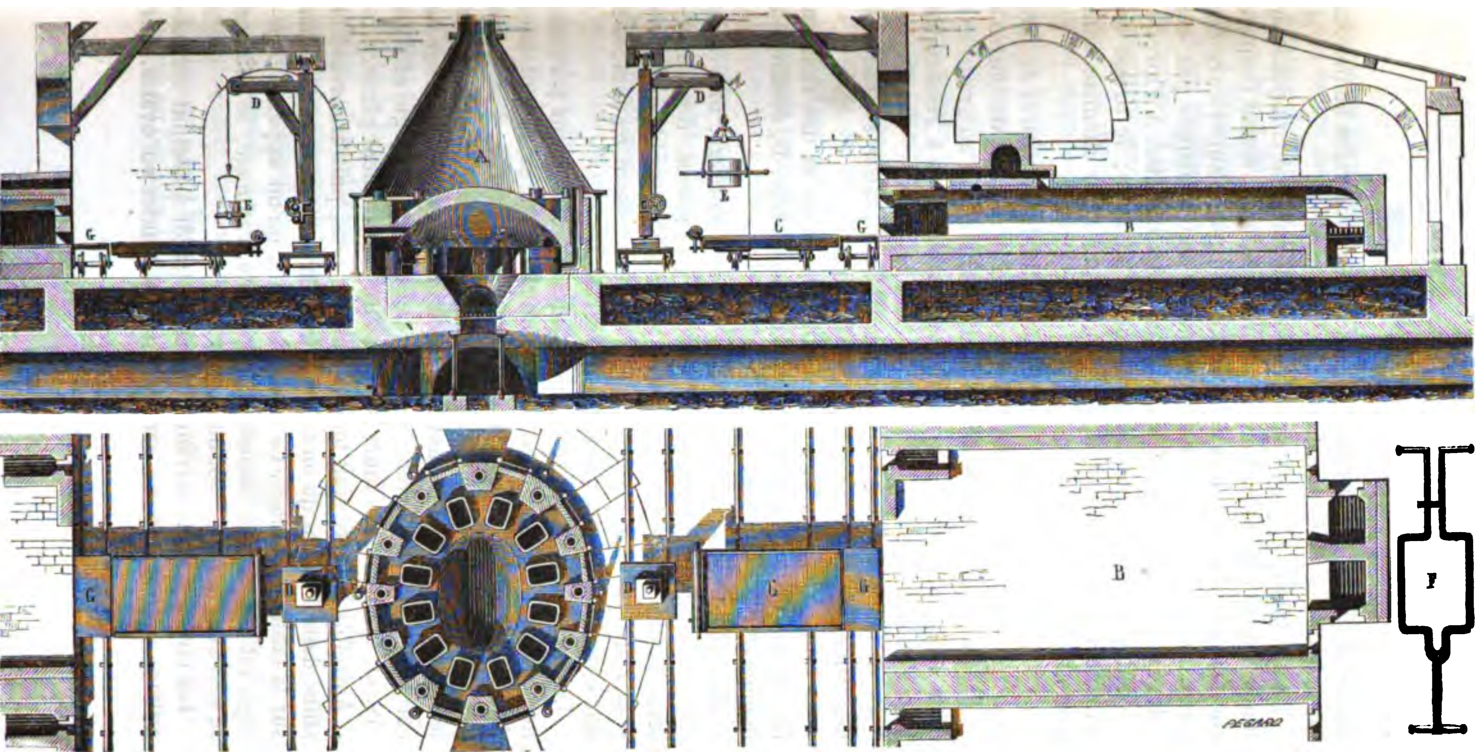


Fig. 11.

munie d'une hotte qui recouvre tout le four et entraîne au dehors les produits de la combustion.

Enfin, dans quelques fours, une sorte de chemise composée de douze rideaux en tôle, tournant sur charnières, ferme l'espace compris entre le dessous de la hotte et la partie supérieure des ouvreaux, de sorte que les pigeonniers sont masqués par ces rideaux, et que l'air froid n'afflue pas sous la hotte. A Floreffe, ces rideaux descendent jusqu'au sol de la halle; le tirage est tellement actif qu'on peut s'enfermer sous cette chemise sans ressentir une trop forte chaleur.

Le four est placé dans l'axe d'une halle de 26 mètres de largeur qui contient quatre fours espacés de 16 mètres, de centre à centre; de chaque côté des fours, et parallèlement au grand axe de la halle, sont placés symétriquement les fours à recuire les glaces ou *carcaisses*, B.

De distance en distance, à la place d'une carcaisse se trouvent des fours à cuire les cuvettes et les briques.

La table à couler, C, se meut sur des galets et des rails en fer; à l'un de ses bouts se trouve la grue mobile, D, destinée à manœuvrer les cuvettes.

Chaque carcaisse a trois foyers pour le chauffage, une large ouverture à l'avant pour entrer et sortir les glaces, des ouvertures pour donner graduellement accès à l'air froid quand on veut refroidir le four, un carneau pour conduire les fumées à une cheminée desservant plusieurs carcaisses.

La construction de la sole de ces fours exige des soins particuliers : les briques, bien dressées sur toutes leurs faces, sont placées de champ, reposant sur une couche de sable tamisé, d'un grain uniforme et bien sec; elles sont juxtaposées, sans ciment, toutes les parties de la sole devant se dilater librement : le dresseur de carcaisses vérifie souvent, au moyen d'une longue règle et d'un niveau, la sole de ces fours qui doit être parfaitement plane.

Autrefois le verre était fondu dans des pots, puis transvasé et affiné dans d'autres qu'on enlevait avec la grue pour le déverser sur la table de coulage. Ce transvasement, qu'on appelait *tréjétage*, est aujourd'hui abandonné. La fonte, l'affinage, le coulage se font avec le même pot ou cuvette.

Les cuvettes sont, suivant les usines, tantôt à section rectangulaire avec les angles arrondis, tantôt rondes ou ovales. Les

dernières paraissent devoir être préférées, parce qu'elles occupent moins de place dans le four. Elles ont de 75 centimètres à 1 mètre de hauteur; leur épaisseur est de 6 à 7 centimètres pour les côtés et de 10 centimètres pour le fond. Elles contiennent de 300 à 500 kilogr. de verre fondu.

Elles portent à la ceinture, sur leur pourtour extérieur, vers le milieu de la hauteur, une rainure creuse qui permet de les saisir fortement avec les tenailles (fig. 11, F). Leur confection est la même que celle des pots ordinaires de verrerie; la façon doit en être aussi soignée que possible, car elles sont exposées à plus de fatigue. Lorsque leur fabrication est terminée, on les laisse sécher à l'étuve, pendant quatre à six mois; on les cuit dans un four spécial, qui en renferme toujours cinq à six, et on les introduit déjà rouges dans le four de fusion.

Une cuvette de bonne qualité fournit, en moyenne, 30 coulées.

Supposons que la coulée vienne d'être faite; le four de fusion est garni de ses douze cuvettes vides, qu'on vient de replacer successivement sur leur siége. Le tiseur réchauffe son four. Quelques heures après, on enfourne une partie de la composition de manière à remplir les cuvettes. La matière, en fondant, prend un retrait considérable, et bientôt elle n'offre plus que le tiers ou le quart de son volume primitif. Trois heures après, on fait un deuxième enfournement, puis un troisième, après un même laps de temps. Si la fonte ne se fait pas également bien dans toutes les cuvettes, le tiseur s'en aperçoit et fait mettre quelques pelletées de calcin dans le pot qui se trouve en retard.

Sept à huit heures après, le verre est fondu ; mais il est rempli de bulles, qu'un feu violent et soutenu doit faire disparaître; c'est ce qu'on appelle l'*affinage* qui dure cinq à six heures.

Au bout de ce temps, le verre a pris une transparence complète: seulement il est trop chaud, trop liquide pour être coulé. Il faut le laisser reposer pendant quelques heures dans les cuvettes, en modérant la température, dans le but de lui donner un état convenablement pâteux ; cette phase de la fonte est ce qu'on nomme *faire la braise*.

En somme, la *fusion des matières*, l'*affinage*, la *braise* durent vingt-quatre heures. On coule, par exemple, tous les matins, de six heures à sept heures. Dans quelques établissements, la coulée se fait au bout de dix-huit à vingt heures.

La consommation d'un four est de 5000 à 7000 kilogrammes de houille par coulée; un four à douze cuvettes peut fournir 80 à 100 mètres superficiels de glaces de 10 millimètres d'épaisseur, pesant 25 kilogr. le mètre carré, soit 2000 à 2500 kilogr.

Les résultats suivants, qui m'ont été communiqués par M. Henroz, l'habile directeur de la glacerie de Floreffe, donnent une idée précise de cette partie du travail.

Un four à douze cuvettes consomme par vingt-quatre heures 6550 à 6700 kilogr. de charbon demi-gras de Charleroi.

Les douze cuvettes ont reçu 4363 kilogr. de composition, qui ont donné :

Glaces équarries ou représentées en groisil..........	2142 kilogr.
Pertes à la fusion et têtes de glaces................	443
Curage des cuvettes à la coulée....................	500
Écrémage du verre............................	345
Verre séparé avec les mains en cuivre. Lèche-frite.....	245
Groisil sale..................................	24
	3699

soit 664 kilogr. ou 15,2 pour 100 perdus par volatilisation et par débordement du verre.

Les 2142 kilogr. de glaces équarries ou représentées en groisil équivalent aux 49 centièmes de la composition introduite dans les creusets.

Pour les glaces de qualité inférieure, qu'on emploie à l'état brut pour couvertures, cloisons, etc., glaces dont la consommation, considérable en Angleterre, est à peine connue chez nous, la fonte peut être beaucoup plus rapide, et la coulée se faire toutes les quatorze heures. On obtient ainsi, avec des frais généraux qui restent les mêmes, une quantité beaucoup plus considérable de produits. La difficulté la plus sérieuse que les glaceries aient à surmonter désormais est de trouver pour leurs produits de nouveaux consommateurs. Souvent elles sont réduites, pendant une partie de l'année, à un chômage désastreux dû à la rapidité de leur travail et à l'encombrement de leurs magasins.

La *coulée* des glaces est l'une des opérations industrielles les plus hardies, les plus curieuses qu'on puisse voir. Elle exige beaucoup d'ensemble et de promptitude. En moins d'une heure, il faut couler douze glaces, ayant chacune, en moyenne, de 6 à 8 mètres superficiels, les enfourner dans les carcaisses et rentrer

les cuvettes dans le four. M. Valerio compare cette opération à la manœuvre d'une pièce d'artillerie, près de laquelle chaque homme est à son poste, attentif au commandement du chef.

Des ouvriers enlèvent vivement, avec une longue fourche montée sur roues, la tuile d'ouvreau qui masque le creuset, en introduisant les extrémités de la fourche dans les deux trous pratiqués dans cette tuile qu'ils déposent contre la paroi extérieure du four.

La cuvette est aussitôt saisie à la ceinture avec une grande tenaille montée sur roues; on pèse sur elle et on l'enlève pour la poser sur un petit chariot en fer, qu'on traîne au pas de course au pied de la grue ou potence. On *écrême* le verre. Cette opération consiste à enlever, au moyen d'instruments plats ou recourbés qu'on nomme sabres, grapins, etc., les saletés qui se trouvent à la surface du verre.

Une tenaille, terminée par deux longues branches, saisit la cuvette à sa ceinture; cette tenaille est suspendue par des chaînes en fer, qui passent sur une poulie située au haut de la potence, et qui s'enroulent sur un tambour placé à sa partie inférieure.

On nettoie alors la cuvette à l'extérieur afin qu'aucune ordure ne puisse tomber sur la table.

Au-dessous de la cuvette, ainsi suspendue (fig. 11, E), se trouve la table en fonte sur laquelle le verre va s'étaler. Elle est chaude et elle vient d'être nettoyée; elle est munie des tringles mobiles qui doivent donner à la glace son épaisseur et sa largeur : sur ces tringles, repose le rouleau en fonte servant à laminer le verre.

Enfin la carcaisse située à l'un des bouts de la table, et au même niveau, est à la température voulue pour recevoir les glaces qu'on va couler : on a passé sur sa sole un grand rable en bois pour la nettoyer et pour égaliser le peu de sable qu'on y a répandu pour faciliter le glissement des glaces.

Tous ces préparatifs étant faits, la cuvette, suspendue à un mètre environ au-dessus de la table, reçoit un mouvement de bascule qui renverse le verre le long du rouleau. La masse vitreuse s'écoule comme un flot de lave incandescente. On relève aussitôt la cuvette et on l'écarte en y laissant une certaine quantité de verre qui, ordinairement, est impur. Le rouleau est immédiatement mis en jeu; guidé sur les tringles, il parcourt la table d'une extrémité à l'autre en étendant uniformément le

verre. Il vient tomber en contre-bas sur un chariot mobile disposé pour le recevoir à la fin de sa course.

Deux mains en cuivre, placées sur les tringles et qui suivent le mouvement du rouleau, maintiennent le verre et l'empêchent de se déverser. Une glace qui présente des bavures est une glace perdue, qui casse infailliblement pendant qu'on la recuit dans la carcaisse.

La glace étant coulée, au moyen d'une large pelle en équerre, on la pousse encore rouge et à peine rigide dans la carcaisse.

Pendant que ces opérations s'exécutent, des ouvriers ont ramené dans le four la cuvette vidée. On a préalablement projeté sur l'emplacement qu'elle y occupe du charbon menu, afin d'empêcher, dans les fontes suivantes, l'adhérence de la cuvette avec le siége, par suite du verre répandu qui peut s'y trouver.

On a aussi jeté dans des baquets remplis d'eau froide tout le verre provenant de l'écrémage, des fonds des pots, etc.; on lave ce verre et on en fait un triage pour l'employer comme calcin dans les opérations suivantes.

Dans l'opération du coulage que nous venons de décrire, on a vu que le verre est versé sur le bout de la table le plus éloigné de la carcaisse.

Ce mode de coulage, qu'on pratique dans la plupart des usines françaises, est plus rationnel que le *coulage en tête* qu'on pratique dans d'autres glaceries, dans lesquelles la cuvette est au-dessus du bout de la table le plus rapproché de la carcaisse, le rouleau cheminant vers le grand axe de la halle en étalant le verre. De cette façon, la partie de la glace par laquelle on la pousse dans la carcaisse, ayant été laminée la dernière, n'est pas suffisamment solide pour qu'il ne soit pas nécessaire d'y faire un épais bourrelet, une *tête*, sur laquelle on appuie pour enfourner la glace. Ce bourrelet entraîne une perte notable de temps et de matière et détermine souvent la rupture des glaces, à cause de la difficulté qu'on éprouve à bien recuire du verre aussi épais. En outre, par le coulage à l'opposé de la carcaisse, on risque moins de déformer la glace et de la plisser en l'enfournant.

Enfin, pour compléter la description du coulage des glaces, j'ajouterai que, dans les usines françaises, trois chemins de fer parallèles servent à manœuvrer la table à couler, qui est en fonte d'une seule pièce, pesant 20 à 25,000 kilogr., le chariot portant

le rouleau du poids de 200 à 300 kilogr., et la potence. Aux deux extrémités de l'axe du rouleau sont attachées des chaînes qui viennent s'enrouler sur un tambour placé à la partie inférieure de son chariot. Le rouleau, arrivé à l'extrémité de sa course, remonte des tringles sur le chariot, qu'on pousse en avant. Il est remplacé par la plate-forme en tôle (fig. 11, G), montée sur roues, qui se trouve au même niveau que la table à couler et qui vient remplir le vide existant entre la table et la carcaisse.

La potence, montée aussi sur un chariot à quatre roues, peut se mouvoir rapidement sur son chemin de fer. Pour la maintenir dans la position verticale, elle glisse à sa partie supérieure entre deux entre-toises ménagées dans la charpente de la halle.

La glace, une fois coulée et enfournée, est rangée dans la carcaisse, qui en reçoit six habituellement. Lorsque la carcaisse est pleine, on en ferme immédiatement l'ouverture avec des plaques de tôle ou de larges briques cimentées avec de l'argile. Après un séjour de vingt-quatre à trente heures, on laisse rentrer un peu d'air, puis on hâte graduellement le refroidissement jusqu'au troisième ou au quatrième jour.

Avant le défournement et souvent quand la carcaisse est encore très-chaude, un ouvrier y pénètre pour visiter les glaces. Quand il aperçoit une fissure, il l'arrête avec un fer rouge qu'il applique au point où cette fissure se termine.

Le défournement se fait sur une grande table en bois qu'on met au niveau de l'ouverture de la carcaisse. L'ouvrier équarrisseur coupe avec une règle et le diamant les bandes de la glace; on la porte ensuite, suspendue verticalement sur des courroies, dans l'atelier d'équarri brut.

La glace est visitée et débitée d'après ses défauts et suivant les commandes qu'on a à exécuter. Sa dimension ordinaire est de 8 à 10 mètres superficiels. Elle passe immédiatement à l'*atelier du douci*.

Travail mécanique des glaces. La glace est scellée au plâtre sur une grande pierre bien dressée, ou bien sur une surface plane, composée de plusieurs pierres maintenues par des madriers en sapin serrés par des boulons.

On la passe d'abord à la *ferrasse* pour la dégrossir : à cet effet, on fait mouvoir sur sa surface, sur laquelle on projette du sable quartzeux, et qu'on arrose sans cesse avec un petit filet d'eau,

un cadre en bois garni de lames de fer maintenues par-dessous avec des vis noyées. On la retourne pour la dégrossir de la même façon sur l'autre face.

Les glaces dégrossies sont ensuite frottées l'une sur l'autre, *pour les doucir*, avec du grès plus fin. La glace supérieure est mobile et reçoit, au moyen d'une bielle, un mouvement circulaire et alternatif : l'autre glace est fixe.

Puis le sable est remplacé par l'émeri, dont on emploie, pour cette opération, les plus gros numéros. Cette matière se prépare en mettant en suspension dans une série de vases, l'émeri pulvérisé et tamisé. Celui qui se dépose le premier donne la poudre la plus grossière; l'eau qui reste trouble pendant le temps le plus long fournit par un repos prolongé, l'émeri le plus fin.

Les glaces, après le doucissage, sont lavées, dressées contre le mur de l'atelier et soumises à une seconde visite. On les classe d'après leurs défauts; une partie est renvoyée au douci; une autre passe à l'*atelier du savonnage* après qu'on en a dressé les bords.

Le savonnage est fait habituellement à la main. Sur une glace posée sur une table, quatre femmes font mouvoir une autre glace, en la poussant chacune par un angle. Elles interposent entre les deux surfaces de l'émeri en pâte, délayé dans l'eau et de plus en plus fin. Cette opération a surtout pour objet d'enlever les piqûres, les aspérités qu'a laissées le sable. C'est un travail long et pénible; une femme ne fait par journée de onze heures que 1 mètre à 1^{m}.50 de glaces des deux côtés. Comme les défauts qu'il faut effacer sont inégalement répartis sur le verre, on comprend que ce travail n'a pu être fait jusqu'à présent que manuellement.

Les glaces sont nettoyées, visitées et classées une troisième fois : celles qui sont dans de bonnes conditions passent à l'*atelier du polissage*. Elles sont mates, et il s'agit de les rendre transparentes, de les polir, en les frottant avec des feutres garnis de colcotar.

Cette matière est du peroxyde de fer rouge, aussi pur, aussi tenu que possible. On le prépare par le broyage, le tamisage et la décantation; on le met en petits pains comme le blanc d'Espagne.

On se sert, pour donner le poli, d'appareils mécaniques d'une construction compliquée et coûteuse.

La glace est scellée (fig. 12) sur une table mobile I ayant un mouvement rectangulaire de va-et-vient, sur laquelle frottent des brosses HH' garnies de feutre, ayant un mouvement droit perpendiculaire au mouvement de la table. Le colcotar est employé à l'état de pâte humide.

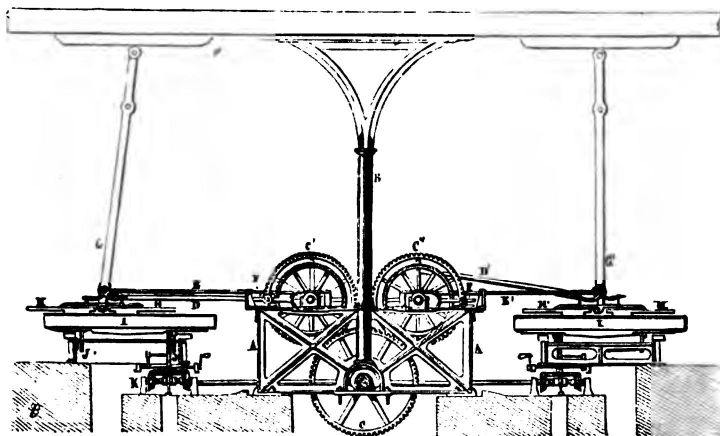


Fig. 12.

Légende d'une machine à polir les glaces, construite à Seraing (Belgique).

A bâtis.
B colonne.
C roue d'engrenage motrice.
C' C'' roue de transmission du mouvement des polissoirs.
D D' bielles.
E E' guides des polissoirs.
FF embrayages des roues C' et C'' servant à arrêter le mouvement de l'une des tables.
G G' balanciers des polissoirs.
H H' polissoirs en bois.
I I tables de pierres supportées par un cadre en fonte et douées d'un mouvement perpendiculaire à celui des polissoirs.
J' galets en fonte sur lesquels glissent la table.
K engrenages armés d'un manchon d'embrayage mis en mouvement par un levier manœuvré à la main et donnant le mouvement de translation à la table. L'engrenage reçoit le sien de la roue motrice C.

Le scellement des glaces est une opération curieuse. On les range les unes à côté des autres dans un cadre, sur une grande glace dressée et mouillée; il se produit une adhérence telle qu'on peut, au moyen d'un treuil, les renverser, sans qu'elles se détachent, sur une table plane qui vient de recevoir un coulis de plâtre; un ouvrier monte alors sur la première glace qu'on nomme le *modèle*. La prise du plâtre a lieu bientôt, et le modèle peut être enlevé, dépouillé des glaces qui restent solidement fixées par le plâtre.

Les brosses garnies de feutre et de colcotar sont alors mises

en mouvement, ainsi que la table mobile sur laquelle les glaces sont scellées.

Il faut huit à dix heures pour polir d'un côté 5 à 6 mètres superficiels de glace.

Pour l'ensemble des opérations mécaniques qu'on lui fait subir, une glace reste quatre à cinq jours au moins dans les ateliers.

Enfin, les glaces polies sont soumises à une quatrième visite, qui se fait à la lumière dans une chambre noire. Cet examen a surtout pour objet de déceler les filandres, les défauts les moins apparents et de les classer pour la vente, en raison des dimensions, des défauts et des qualités qu'elles présentent.

Prix de revient des glaces. D'après les documents fournis par M. Houtart-Cossée, directeur de Sainte-Marie d'Oignies, au Conseil supérieur du commerce, à l'occasion de l'enquête relative au traité de commerce avec l'Angleterre, la fabrication de 1 mètre de glace exige :

Pour le brut (fonte et recuit)		180 kil. de houille.
Pour le douci	77	195 —
Pour le poli	118	
		375 kil. —

Un mètre de glace brut revient en Belgique à 6 à 7 fr., et à Recquignies à 8 fr. à 8 fr. 20 c. Il pèse, en moyenne, 25 kilogrammes.

Un mètre de glace polie, dont le poids est, en moyenne, de 17 kilogrammes, revient à 17 fr. 54 c. en Belgique, pour le travail seulement, sans faire entrer dans ce prix l'intérêt du capital engagé, les frais généraux, l'amortissement, etc. En y comprenant ces éléments, le prix de revient en Belgique serait de 27 à 28 fr. Le prix de vente, dans ce pays, est de 32 à 33 fr. le mètre superficiel.

En France, la cherté du combustible et des sels de soude (en raison surtout de l'impôt de 100 fr. par tonne sur le sel marin) augmente notablement le prix de revient, qui, abstraction faite des frais généraux, de l'intérêt du capital, etc., serait de 21 fr. 41 c. à Saint-Gobain, et de 23 fr. 97 c. à Cirey, en appliquant à ces fabriques les données fournies par M. Houtart-Cossée, et en

tenant compte du prix de la houille et des produits chimiques dans ces usines, tel qu'il a été indiqué dans l'enquête.

En Angleterre, le prix de revient des glaces serait beaucoup plus bas qu'en Belgique; la houille, qui coûte 22 fr. la tonne à Saint-Gobain et 13 fr. 25 c. en Belgique, ne revient qu'à 6 à 7 fr. aux glaceries anglaises. Le sulfate de soude brut vaut 10 fr. en Angleterre, 13 fr. 50 c. en Belgique et 20 à 22 fr. en France.

Dimensions, défauts, qualités et prix des glaces. Il n'est pas sans intérêt d'indiquer ici les dimensions des glaces que les différentes manufactures ont fait figurer aux dernières expositions. Ces dimensions, bien que n'étant pas celles que réclame le commerce, témoignent de la puissance actuelle de cette industrie.

A l'exposition universelle de Londres, la compagnie de la Tamise (*Thames plate-glass Company*) avait une glace de $5^m.68$ de hauteur sur $3^m.04$ de largeur, soit $17^m.267$ de superficie. Mais la qualité de cette glace laissait beaucoup à désirer, et il eût été difficile de tirer de cet immense morceau de verre une glace vendable de quelque importance.

A Paris, à l'exposition de 1855, on admirait une glace en blanc de Saint-Gobain, d'une qualité irréprochable, ayant $5^m.37$ de hauteur et $3^m.36$ de largeur, soit $18^m.04$ de superficie. Une glace de Cirey avait $18^m.50$ superficiels.

Pour faire ces glaces, on coule sur la table simultanément le contenu de deux grands pots, dont le verre est marié de façon à éviter toute trace de la réunion des deux flots liquides et à ne pas emprisonner de bulles d'air, ni ce qu'on nomme, en termes techniques, des *crachats*. On comprend les difficultés que présente cette opération, ainsi que le polissage et le transport de ces grandes pièces.

Pour estimer la valeur d'une glace, on observe certaines règles qu'il est utile de connaître. Les principales qualités qu'elle doit offrir sont : la planimétrie, l'égalité d'épaisseur, la finesse du poli, la blancheur, la pureté du verre. Les défauts les plus saillants sont : le manque de planimétrie ou d'égalité d'épaisseur, qui produit, dans les glaces étamées, la déformation des objets réfléchis; les rayures, provenant du douci ou du poli; une coloration sensible, qu'elle soit verte, brune, jaune ou violette; le

ressuyage, c'est-à-dire la faculté que possède le verre trop chargé d'alcali de se ternir en se couvrant d'efflorescences cristallines de carbonate de soude; les points, les stries, les larmes, les crachats, les ondes, les cordes, les fils, etc. Ces défauts proviennent d'un mauvais affinage du verre ou d'accidents pendant la fonte ou pendant la coulée. La plupart sont d'autant plus difficiles à éviter que les dimensions de la glace sont plus grandes.

C'est surtout en ayant égard à ces défauts que les glaces sont débitées en morceaux plus ou moins volumineux, et que, d'après les tarifs en usage, le prix de vente du mètre superficiel augmente rapidement avec la dimension de la glace. Voici, comme exemple, le prix en France du mètre carré de la glace de troisième choix. C'est, d'après M. Chevandier de Valdrôme, auquel j'emprunte ce tarif, celle qui se vend le plus :

	Le mètre carré.	
La glace de 50 décimètres carrés, vaut	26f.	95c.
La glace de 1 mètre	33	75
La glace de 2 mètres	39	20
La glace de 3 mètres	44	65
La glace de 4 mètres	47	35
La glace de 5 mètres	50	10

Il y a également des différences de prix considérables basées sur la qualité : ainsi une glace de 5 mètres, deuxième choix, vaut 58 fr. 40 c. le mètre superficiel ; la même glace en premier choix se vend 66 fr. 75 c.

L'usage qui existe dans tous les pays qui produisent des glaces, d'augmenter considérablement le prix du mètre superficiel en raison de la dimension, a été vivement critiqué par plusieurs membres du Conseil supérieur du commerce. Il avait sa raison d'être autrefois, alors que les procédés de fabrication ne donnaient que des produits habituellement défectueux; mais aujourd'hui qu'on est obligé de couper les petites glaces dans de grandes qui sont le plus souvent exemptes de défauts, il est difficile de comprendre pourquoi les grandes sont, pour une surface égale, beaucoup plus chères que les petites; à moins toutefois que le fabricant n'emploie cet expédient pour abaisser le prix de ces dernières, dont la vente est beaucoup plus importante. Ce serait alors une sorte d'impôt proportionnel prélevé sur le luxe au profit des consommateurs les plus nombreux.

VERRE A BOUTEILLES.

La fabrication des bouteilles n'a pas des états de service aussi brillants que ceux de quelques autres sortes de verre. Elle est néanmoins fort ancienne en France. Il existe dans le département de l'Aisne, à Quicangrogne, une verrerie à bouteilles dont la création remonte aux temps des croisades, à l'année 1290.

En raison de notre grande production vinicole, cette industrie a acquis en France beaucoup d'importance. Elle produit annuellement 60 millions de kilogrammes de bouteilles, d'une valeur de 10 millions de francs environ. Cette somme représente également la valeur des glaces; celle des verres à vitre est de 14 millions. Si on ajoute 20 millions de francs pour la gobeleterie fine et commune, 8 millions pour le cristal, et 1 million pour les verres de montre et les verres pour l'optique, la somme de 63 millions de francs représentera l'ensemble de la fabrication verrière en France.

En 1860, notre exportation des bouteilles pleines et vides s'est élevée à environ 23 millions de kilogr. Elle varie nécessairement beaucoup, ainsi que la fabrication des bouteilles, avec les récoltes de vin. La Champagne consomme en moyenne de 10 à 12 millions de bouteilles par an.

La fabrication des bouteilles demande des soins de plus d'un genre. Ses produits doivent être au meilleur marché possible. Ils sont fabriqués depuis longtemps sous l'empire d'une concurrence très-active. Le prix de vente des bouteilles ordinaires en France varie entre 13 et 18 francs les 100 bouteilles, prises sur place.

A Rive-de-Gier elles reviennent à 11 fr. et coûtent 13 fr. Le combustible, les matières premières, la main-d'œuvre, entrent pour une part à peu près égale dans le prix de revient.

Les bouteilles pour le vin de Champagne, dont la fabrication exige plus de soins, se vendent de 24 à 29 francs, selon le choix. En Belgique, d'après M. Houtart-Roullier, le prix de revient est aussi de 11 fr., et le prix de vente de 13 fr. Une bouteille ordinaire pèse de 600 grammes à 1 kilogramme.

Les matières premières qu'on emploie sont de nature très-

diverse, selon les localités. On se sert autant que possible de celles qu'on a sous la main, afin d'économiser les frais de transport. On emploie les sables du pays, en donnant la préférence à ceux qui, étant calcaires, argileux, ferrugineux, apportent avec eux une partie des fondants nécessaires à la production économique du verre.

A Rive-de-Gier et à Givors, dans les usines dirigées par M. Ch. Raabe, lesquelles contiennent 22 fours pour la fabrication des bouteilles, la composition qu'on employait il y a quelques années était la suivante :

Sable du Rhône	100
Chaux éteinte	24
Sulfate de soude	8

Le sable du Rhône est ferrugineux et contient 20 pour 100 de calcaire.

Dans la verrerie de M. de Violaïne, à Vauxrot, près Soissons, où l'on produit, avec quatre fours, 4 millions de bouteilles champenoises, les matières premières mises en œuvre sont les sables calcaires, les cendres neuves et lessivées du pays, qu'on nomme *charrées ;* la craie de Champagne, les soudes de varech, le sel de soude, le sulfate de soude, la soude factice.

En Belgique, dans la province de Charleroi, M. Houtart-Roullier fait usage du mélange suivant :

100 parties de sa composition renferment :

Sable du pays	10
Cendres de tourbe (de la Hollande)	20
Sulfate de soude	15
Calcaire	5
Groisil ou tessons de bouteilles	50

D'après ces mélanges, la composition du verre à bouteille est très-variable; les fondants ordinaires, la soude et la potasse s'y trouvent eux-mêmes en grande partie remplacés par des fondants multiples d'un prix moins élevé, c'est-à-dire par la chaux, la magnésie, l'alumine, l'oxyde de fer, etc.

Voici les analyses de trois verres à bouteille de bonne qualité; les deux premières sont de M. Berthier; la troisième est de M. Maumené.

	1.		2.		3.
Silice..........	60.2	—	59.6	—	58.4
Chaux.........	20.7	—	18.0	—	18.6
Baryte.........	0.9	—	»	—	»
Soude et potasse.	3.2	—	3.2	potasse.	1.8
				soude..	9.9
Magnésie.......	0.6	—	7.0	—	»
Alumine........	10.6	—	6.8	—	2.1
Oxyde de fer....	3.8	—	4.4	—	8.9
Oxyde de manganèse.	»	—	0.4	—	»
	100.0		99.4		99.7

J'ai donné précédemment (page 458) la composition d'une bouteille champenoise très-attaquable par les acides, à cause de la proportion de chaux trop considérable qu'elle renferme.

Il est important de produire des bouteilles soufflées bien régulièrement et bien recuites, surtout pour celles qui sont destinées à contenir les vins mousseux; autrement la casse, surtout pendant les premiers temps de la fermentation, devient très-considérable. Elle est en moyenne, dans les caves de Reims et d'Épernay, de 10 pour 100; mais elle s'élève dans certaines années et avec certaines bouteilles, à 50 pour 100 et au delà. On a construit diverses machines d'épreuve pour mesurer la résistance des bouteilles; les bonnes bouteilles résistent à une pression de 25 à 35 atmosphères.

D'après M. Maumené, professeur à Reims, auteur d'un important ouvrage sur le travail des vins mousseux, les conditions générales à remplir pour les bouteilles à champagne sont, en dehors de celles qui tiennent à la qualité du verre : le poids, qui doit être compris entre 850 et 900 grammes; l'épaisseur, qui doit être uniforme; la couleur, qui doit être claire sans être bleue ni irisée; la pureté du verre, qui doit être surtout exempt de *pierres*, qui sont presque toujours l'indice de petites fentes; en outre, l'embouchure doit être convenablement conique, pour bien retenir le bouchon et assurer la conservation du vin.

1. Verre de Saint-Étienne (Loire).

2. Verre d'Épinac, près Autun (Saône-et-Loire).

3. Bouteille à champagne de très-bonne qualité, dont la résistance à la pression avait été constatée.

Fabrication des bouteilles. La fusion des matières premières se fait dans des fours analogues à ceux qui servent pour le verre à vitre. Néanmoins, à Rive-de-Gier, on emploie des fours rectangulaires (fig. 13), dont la chaleur perdue se dégage, de chaque côté du four, dans des arches qui reçoivent la composition, qui est frittée pendant vingt-huit heures. On n'ajoute pas de charbon pour décomposer le sulfate de soude, ainsi qu'on le fait pour le verre à vitre ou à gobeleterie commune; il est probable que l'oxyde de carbone et les gaz hydrogénés qui se trouvent dans les produits de la combustion facilitent cette décomposition.

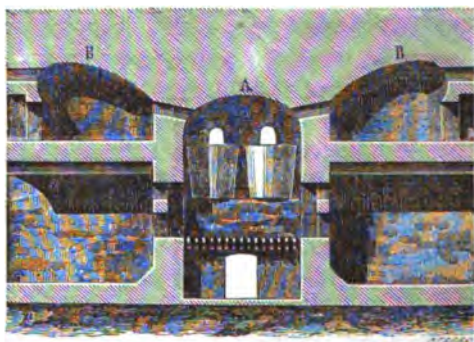


Fig. 13.

Les creusets sont ronds, ovales ou rectangulaires; ils reçoivent chacun 600 à 1,000 kilogrammes de matière frittée, dont le rendement utile est de 80 pour 100 de verre fondu.

La fonte dure douze à treize heures; le travail, quatorze heures, en y comprenant deux heures de repos. On fait par heure 75 à 80 bouteilles ordinaires ou 50 bouteilles champenoises.

La fonte, le travail et le recuit de 100 bouteilles ordinaires consomment 60 à 75 kilogrammes de houille; pour les bouteilles champenoises, la consommation est de 200 kilogrammes.

On fait 245 à 250 fontes par an et par four contenant 8 pots; après ce temps, le four est hors de service. Il a fait 1 million de bouteilles.

Pour deux pots, il y a un four à recuire dans lequel les bouteilles sont portées aussitôt qu'elles sont façonnées.

Le travail se fait avec une extrême rapidité, avec le concours de quatre ouvriers.

Le *gamin* cueille le verre une première fois. Il passe sa canne au *grand garçon*, qui la charge d'une nouvelle quantité de verre et lui imprime le mouvement qui donne à la pièce la forme allongée.

Le *souffleur* souffle la bouteille, la met au moule, en fait le fond et le collet.

Le moulage se fait dans trois moules secs en terre, cerclés de fer. Le fond est produit par la compression d'un outil sur le fond plat de la bouteille au sortir du moule, pendant que l'ouvrier tourne sa canne dont l'embouchure s'appuie sur le sol : pour le collet, on lui apporte un peu de verre fondu qu'il enroule sur le col de sa pièce; de même pour les bouteilles qui reçoivent un cachet qu'on imprime avec une pièce gravée en fer, comme on le ferait avec la cire à cacheter.

La bouteille terminée est détachée de la canne, reçue par le *porteur* sur une fourche en fer et introduite dans le four à recuire. Celui-ci a un foyer au centre; de chaque côté viennent se ranger les bouteilles, qu'on empile ensuite les unes sur les autres jusqu'à ce que le four soit plein. On laisse tomber le feu, on ferme les ouvertures, et au bout de quarante-huit heures on en retire les bouteilles recuites.

D'autres fours à recuire sont à feu continu. Ils se composent d'une longue galerie, chauffée vers le milieu par un foyer et terminée par des portes à ses deux extrémités. Le four est traversé par une chaîne en fer sans fin à laquelle sont accrochés des chariots sur lesquels on dépose les objets à recuire. Ils entrent par un bout, et sortent par l'autre convenablement recuits et refroidis.

Ce même four continu est en usage pour recuire les objets de gobeleterie en verre ou en cristal.

On se plaint souvent de l'inégale capacité des bouteilles. On comprend, en effet, qu'en dehors de l'intervention de certains négociants qui imposent au verrier l'obligation de leur faire des bouteilles de plus en plus petites, il soit difficile d'arriver, autrement que par le jaugeage, à livrer des vases d'une capacité uniforme, quand on suit les procédés ordinaires de fabrication. Mais on y parvient en se servant de moules métalliques. Un mécanicien

habile, M. Carillon, auquel est dû l'outillage mécanique de la glacerie de Montluçon, a introduit dans quelques verreries le moule en fer à charnières, représenté ci-desous.

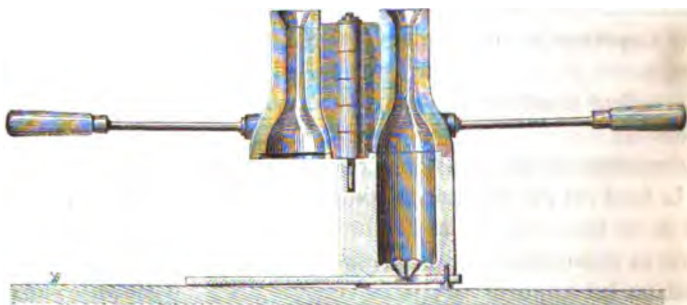


Fig. 14.

Ce moule est destiné à faire des bouteilles bordelaises, à fond plat, d'une capacité de 70 centilitres et du poids de 750 grammes.

Le moule étant préalablement échauffé et maintenu fermé, on commence la paraison; le verre est cueilli avec la canne, marbré sur la plaque de fonte, cueilli de nouveau, moulé dans un moule en bois de hêtre mouillé; l'ouvrier souffle légèrement, rechauffe sa pièce à l'ouvreau, puis la laisse pendre un instant pour former le goulot. A ce moment, le gamin ouvre le moule qui reçoit la paraison; il le ferme, et l'ouvrier souffle d'abord avec la bouche et immédiatement après avec le *piston* (pompe de Robinet). La bouteille est passée au chef de place qui la met sur un calibre pour en fixer la longueur, la détache de sa canne en rognant le goulot d'après cette mesure, la prend par le corps avec un *sabot*, instrument qui remplace le poutil, la met à l'ouvreau pour arrondir le goulot, et en fait la bague avec du verre qu'un gamin lui apporte au bout d'un poutil. La bouteille, ainsi terminée, est portée au four à recuire.

Le fond du moule est percé de très-petits trous destinés à la sortie de l'air; sans ces trous, le verre n'épouserait pas exactement les contours du moule.

Ce mode de fabrication est évidemment plus lent et plus coûteux que celui qu'on suit habituellement, mais il fournit des vases exactement calibrés.

La couleur des bouteilles qu'on fabrique en France est d'un

vert plus ou moins foncé; elle est due au silicate de protoxyde de fer. Celles qu'on fait en Angleterre pour les bières fortes sont presque noires; en Allemagne, pour les vins du Rhin, les bouteilles sont d'un jaune brun : cette couleur est due à l'addition de l'oxyde de manganèse. La coloration des bouteilles, indice de l'imperfection des anciens procédés de fabrication, n'a aucune raison d'être aujourd'hui. Il serait à désirer que l'usage des vases incolores ou moins colorés s'introduisît, surtout pour ceux qui sont destinés à contenir des boissons.

Gobeleterie. La fabrication des objets de forme et d'usage si variés qui composent cette classe de la verrerie, remonte, pour quelques-uns, à la plus haute antiquité. Les fouilles exécutées en Égypte, en Grèce, en Italie, ont amené la découverte d'une multitude d'objets en verre soufflé, moulé, taillé, et aussi en verre filigrané, incrusté ou doublé, dont plusieurs dénotent une fabrication avancée. Il existe au Musée britannique, au Louvre, à la Bibliothèque impériale, des objets en verre antique que l'habileté de nos verriers, si grande qu'elle soit, reproduirait difficilement. On voit dans le Musée de Londres une belle coupe retirée par le capitaine Layard des fouilles faites sur l'emplacement de Ninive. Un nom, probablement celui d'un souverain contemporain ou celui de l'artiste qui l'a fait, est gravé sur ce verre. D'après les caractères employés et la localité dans laquelle il a été trouvé, on pense que sa fabrication ne remonte pas à moins de sept siècles avant l'ère chrétienne : c'est probablement le plus ancien spécimen de l'art de la verrerie.

La planche ci-après (fig. 15) représente deux célèbres vases d'origine antique.

Le premier a été trouvé, en 1839, dans un sépulcre de Pompéia. Connu sous le nom de *vase de Naples*, il est exposé dans le Musée de cette ville. Sa hauteur est de 30 centimètres. Les figures en relief, en émail blanc, d'un dessin et d'un fini très-remarquables, paraissent avoir été ciselées dans une couche de verre blanc qui recouvrait la masse, qui est transparente, et d'une couleur bleu foncé. Le pied de ce vase a été cassé. Quelques auteurs pensent que ce vase a été fait pour être monté sur un socle en métal. On fait remonter sa fabrication au règne de Trajan.

L'autre vase, non moins célèbre et d'une exécution encore plus remarquable, a été pendant plus de deux siècles le principal ornement du palais des princes Barberini à Rome; il est maintenant connu sous le nom de *vase de Portland*, ayant été adjugé dans une vente à la duchesse de Portland pour le prix de 1,800 guinées (46,800 fr.). Déposé au musée de Londres, il y a été brisé en mille morceaux par la canne d'un fou; mais il a été rétabli avec une incroyable habileté.



Fig. 15.

Ce vase a été trouvé vers le milieu du seizième siècle, aux environs de Rome, dans un sarcophage en marbre. Il est orné, comme le vase de Naples, de figures blanches opaques, en relief, qui se détachent sur un fond bleu foncé. Plusieurs auteurs l'ont décrit comme étant un camée antique en pierre dure, en calcédoine, d'après les uns, en sardoine ou en améthiste, selon les autres, sans faire attention qu'il n'existe pas de pierres précieuses de cette dimension. Le dessous du pied de ce vase est également gravé [1].

Tout le monde connaît le récit de Pline sur l'origine du verre.

1. M. Apsley Pellatt, fabricant de cristaux à Londres, a publié sous le titre de *Curiosities of Glass-Making* des détails fort intéressants sur les verres antiques.

On peut consulter également avec fruit le savant rapport fait, en 1851, par lord de Mauley, président de la XXIV[e] classe de l'Exposition universelle de Londres.

La découverte de cette matière serait due au hasard qui conduisit des marchands de soude phéniciens à employer des blocs de soude pour cuire leurs aliments sur le sable. Mais, ainsi que le fait remarquer M. Dumas, dans l'article si remarquable qu'il consacre au verre dans son Traité de chimie, « quand on connaît « la température nécessaire à la préparation du verre le plus « fusible, et qu'on a vu seulement l'intérieur d'un four de ver- « rerie en activité, on conçoit combien ce récit est invraisem- « blable. »

Pline lui-même ne rapporte cette version que comme un *on dit; fama est...*

Quoi qu'il en soit, il paraît certain que c'est aux Phéniciens et aux Égyptiens qu'il faut faire remonter l'origine de l'art de la verrerie. Leur commerce avec le littoral de la Méditerranée et avec l'Étrurie fit connaître au loin les produits de cette industrie. Néanmoins ce ne fut qu'après la conquête de l'Égypte par les Romains que, par suite d'une connaissance plus parfaite des arts cultivés dans ce pays, l'usage du verre devint général en Italie, et donna lieu à une branche importante de commerce.

Sous le règne de Tibère, plusieurs verreries furent établies aux environs de Rome. Des sommes très-considérables étaient alors dépensées pour l'achat de vases ou de coupes de verre dont la valeur était souvent plus grande que celle des objets de même genre fabriqués avec l'or et l'argent. Ainsi du temps de Néron, on payait 6,000 sesterces (environ 1,200 fr.) deux petites coupes en verre. Les anciens ne connaissaient guère le verre que sous la forme d'objets de prix, figurant dans leurs fêtes ou servant à décorer leurs palais et les temples de leurs dieux; ces objets étaient déposés, comme hommages pieux, dans la tombe des morts. Le verre, de même que les poteries, n'avait alors qu'un mérite purement artistique. Les services si variés que ces produits nous rendent comme pièces de ménage leur étaient inconnus. On ne peut pas indiquer, d'une manière précise, l'époque à laquelle le verre devint réellement usuel.

L'art de la verrerie paraît avoir passé par tradition de l'ancienne Italie à Venise. Il y prit un tel développement, qu'en 1291, sur les plaintes des habitants de cette ville, incommodés par le voisinage d'un trop grand nombre de fours toujours en feu, on dut reléguer les verreries dans l'île de Murano. Les Vé-

nitiens ont excellé dans presque toutes les branches de la verrerie. Les anciens verres de Venise ont une perfection de forme et de travail qui ne le cède en rien à ce que l'art moderne peut produire de plus achevé.

Venise a été le berceau de l'industrie verrière dans toutes les contrées du monde. Jusqu'au seizième siècle, elle conserva le monopole de cette fabrication; mais, à partir de cette époque, des verreries s'établirent en Allemagne, en France et en Angleterre. Celles de la Bohême surtout acquirent rapidement une importance et une perfection qui se sont maintenues jusqu'à nos jours. La fabrication vénitienne est, au contraire, depuis longtemps, en pleine décadence.

On sait que les verres antiques, les anciens verres de Venise et les verres qu'on fabrique en Bohême diffèrent de notre cristal (flint-glass des Anglais) en ce qu'ils ne contiennent pas de plomb: leurs éléments sont la silice, la potasse et la chaux. Ils sont de même nature que nos verres communs, avec cette différence que dans ceux-ci la potasse se trouve remplacée par la soude.

Fabrication du verre de Bohême. Des conditions privilégiées ont donné à la fabrication du verre en Autriche un large développement.

Favorisée par une expérience déjà fort ancienne dans cette branche de fabrication, par l'abondance et la pureté des matières premières, par le bas prix de la main-d'œuvre, la Bohême est depuis longtemps en possession d'une supériorité que, sous plusieurs rapports, nul autre pays ne peut lui contester.

La plupart des verreries de la Bohême sont situées au milieu des grandes forêts de sapins qui alimentent leurs fours, et qui sont la cause principale de leur existence. L'aspect de ces établissements est misérable; presque tous sont construits en bois. La plupart appartiennent au seigneur qui possède tout le pays, et qui, ordinairement, s'est chargé de leur construction, laquelle ne coûte pas au-delà de 40 à 50,000 francs pour une verrerie à deux fours avec ses dépendances. Il loue son usine pour un temps plus ou moins long, en assurant à son fermier le combustible à un prix déterminé d'avance pour toute la durée du bail.

Quand la verrerie a dévoré le bois qui se trouve autour d'elle,

elle se transporte dans une autre partie de la forêt, où elle reste jusqu'à ce que son aliment journalier cesse de nouveau de se trouver à sa portée.

Le bas prix du combustible est la cause première de la fabrication du verre en Bohême. Fabriquer du verre est, pour le propriétaire, l'unique manière d'exploiter ses forêts. Dans l'Amérique septentrionale, en Hongrie, on tire parti du bois en l'incinérant pour en extraire de la potasse; en Bohême, on l'exploite pour faire du verre. Dans ce pays, le stère de bois de sapin, rendu à la fabrique, vaut, en moyenne, 1 fr. 50 cent. En France, il coûte 8 à 9 francs dans les établissements placés dans les meilleures conditions.

Ces forêts donnent également de la potasse à très-bon marché. Le verrier ramasse à proximité de ses fours du quartz hyalin de très-belle qualité, et un calcaire saccharoïde qui, par la cuisson, lui fournit d'excellente chaux. Ce sont là les éléments du verre blanc de Bohême : on ne fabrique qu'accidentellement, et dans un très-petit nombre d'établissements, le cristal à base de plomb. Si l'on ajoute à ces conditions favorables le prix de la main-d'œuvre, qui est trois à quatre fois moins élevé dans ce pays qu'en France, qu'en Belgique et qu'en Angleterre, on comprendra l'importance que cette industrie a acquise dans cette contrée, sans que cette importance témoigne beaucoup en faveur de l'opulence du propriétaire, de l'aisance de ses fermiers, et surtout du bien-être de la population ouvrière du pays.

L'organisation de l'industrie du verre, en Allemagne, diffère beaucoup de ce qu'elle est en France. Tandis que chez nous elle est concentrée dans un petit nombre de .manufactures, dans la monarchie autrichienne elle se trouve disséminée dans 350 à 400 établissements, dont la moitié environ sont situés en Bohême; on compte dans ce dernier pays environ soixante-dix *raffineries de verre*, dans lesquelles le verre qui provient d'usines situées au milieu des forêts, dans des localités isolées, est transporté à l'état brut dans des centres de population dans lesquelles il reçoit la taille, la gravure, la dorure et les ornements si variés qui caractérisent les verres de Bohême. On peut dire qu'en Autriche la fabrication du verre est une dépendance de l'industrie agricole, comme est chez nous, dans le Nord, la fabrication du sucre et celle de l'alcool.

Les diverses sortes de verres fabriqués en Autriche sont évaluées à plus de 45 millions de francs. En 1852, l'exportation de la gobeleterie fine et commune s'est élevée à 16 millions de francs.

Le verre de Bohême rivalise avec le cristal pour le mérite de sa fabrication, et avec la gobeleterie commune pour son bon marché. Il a beaucoup de dureté et d'éclat; il reçoit par la taille un très-beau poli; il est très-bien fondu, remarquable par son homogénéité et son parfait affinage.

Sa teinte est habituellement légèrement jaunâtre, malgré les soins qu'apportent les Bohêmes à exclure de leurs matières premières les divers oxydes colorants qu'elles peuvent contenir. Quelques marchands du pays croient qu'il a la faculté de prendre une teinte jaune plus marquée à l'air ou à la lumière; ce qui les conduit à conserver leurs verres soigneusement enveloppés dans des armoires obscures. La réalité de ce fait est contesté par d'autres.

En raison de la proportion considérable de silice qu'ils renferment, les verres de Bohême sont fabriqués à une température très-élevée; comme ils sont difficilement fusibles, ils se prêtent mieux que tous les autres à recevoir des décors au feu de moufle. Ils résistent parfaitement à l'action des agents chimiques. Les verres allemands, pour les laboratoires de chimie, sont d'une qualité très-supérieure à celle des verres de même usage qu'on fabrique chez nous. Nous n'avons pas pu obtenir encore de nos verriers qu'ils fissent couramment pour nos laboratoires des ustensiles en verre, notamment des tubes pour les analyses organiques, d'une qualité équivalente à celle des verres allemands.

Les Bohêmes excellent dans la fabrication des verres colorés dans la masse; la plupart des couleurs actuellement en usage en France ont été découvertes par eux. Le prix de leurs verres de couleur n'est souvent pas plus élevé que celui des verres blancs. Ils excellent surtout pour la gravure du verre. Presque tous les bons graveurs employés dans nos verreries viennent de la Bohême.

Composition des verres de Bohême. Les verres blancs présentent en général, d'après mes analyses, la composition suivante :

	1.		2.		3.
Silice	77	—	76	—	75
Potasse	14	—	16	—	13
Chaux	8	—	7	—	9
Alumine et oxyde de fer	1	—	1	—	3
	100		100		100

Il est évident que ces verres ont été fabriqués avec des matières employées sensiblement dans les mêmes proportions.

En supposant que les matières premières soient pures, les proportions de la composition seraient à peu près les suivantes :

100 parties quartz pulvérisé.
13 à 15 chaux éteinte.
28 à 32 carbonate de potasse.

Cette composition se rapproche beaucoup de la suivante, qui m'a été communiquée dans une des verreries situées aux environs de Gratzen, en Bohême :

100 parties quartz pulvérisé.
17 chaux éteinte.
32 carbonate de potasse.
1 oxyde de manganèse.
3 arsenic blanc.
Groisil ou débris de verre, le tiers ou la moitié du poids de la composition.

Fours de fusion. Ces fours sont de petite dimension; leur voûte est ordinairement construite d'une seule pièce, en argile damée. Ils sont elliptiques, et leur flamme, après avoir circulé librement autour des pots qui sont au nombre de sept à huit, se dégage dans un second four rectangulaire destiné à la cuisson des pièces, à celle de la chaux, ou bien qui sert à chauffer le quartz, qu'on étone pour le rendre friable. Dans beaucoup de verreries, la chaleur perdue se dégage en sortant de cette arche dans deux carcaises fermées par des portes en tôle, qui reçoivent le bois à dessécher, lequel est placé sur un châssis tournant qui rend plus facile son introduction et sa sortie de l'étuve, quand

1. Échantillon que j'ai rapporté en 1845 de la verrerie de Winterberg, en Bohême.

2. Échantillon de verre mince d'une autre fabrique.

3. Verre rapporté en 1837, par M. Brongniart.

il est sec. Souvent le bois est simplement empilé et desséché sur la plate-forme du four à recuire les pièces.

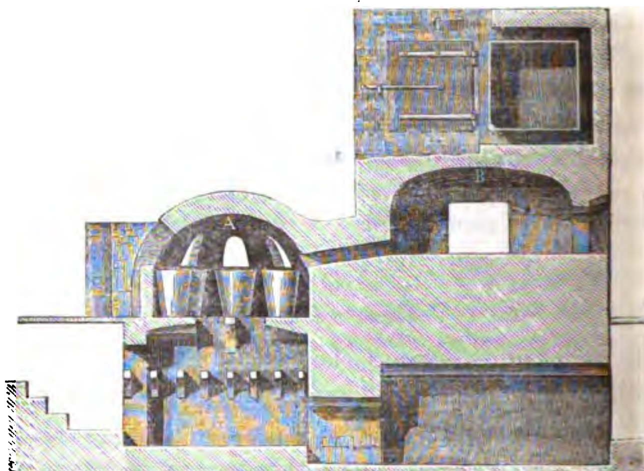


Fig. 16.

Les pots ou creusets reposent sur un siége elliptique en terre réfractaire; ils ont été introduits par le foyer qui est en contre-bas du sol, et auquel on arrive par une voûte souterraine. Souvent le four a deux foyers, dans lesquels on brûle des bûches de sapin de 1m.30 de longueur; il a ordinairement 2 mètres sur 1m.50 de diamètres intérieurs. La plupart des verreries ont deux fours, dont l'un est en activité et l'autre est en réparation.

Les pots sont de petite dimension; ils ne reçoivent chacun que 55 à 70 kilogr. de composition, dont la fusion exige au moins dix-huit heures d'un feu très-vif. Le travail du verre fondu se fait en douze heures. La verrerie fait cinq *travaux* par semaine.

En France, la fabrication du cristal, dont les produits sont similaires par leurs usages et leur fabrication, repose sur des conditions bien meilleures sous le rapport de l'emploi du temps. Un four à cristal reçoit huit creusets, et chaque creuset fournit 125 à 150 kilogrammes de matière fabriquée. La fonte ne durant que douze heures, la cristallerie fait six travaux par semaine. Aussi, tandis qu'un four de Bohême ne produit par semaine que 1,000 kilogr. de verre marchand, un four français en produit 6 à 7,000 kilogr.

Les Bohêmes économisent le verre avec une habileté surprenante. Pour le cueillir, une canne, ordinairement très légère, est introduite dans le creuset par l'ouvreau, devant lequel se trouve le creuset qui sert au travail de l'*atelier*. Chaque atelier ne se compose que d'un souffleur et de son aide. L'outillage en est des plus simples. Plusieurs cannes et tiges de fer pleines; une auge contenant de l'eau pour refroidir le verre, avec une sorte de fourche fixée à l'une de ses parois; une plaque de fonte (*marbre* ou *madre*) qui sert à parer le verre; une autre auge qui reçoit les débris de verre; une palette en bois dont une surface est concave et qui, étant mouillée, sert à arrondir le verre; de grossiers ciseaux à longues branches, destinés à découper les bords des pièces façonnées; quelques pinces et compas en fer ou en bois : tels sont, avec les moules en bois, en métal ou en terre, les outils qui, dans les verreries de Bohême comme dans les cristalleries, servent à façonner tous les objets de gobeleterie aussi variés par leurs formes que par leurs usages.

Le verre étant cueilli et paré, le souffleur forme d'abord une boule épaisse qu'il arrondit, puis qu'il allonge, en promenant à sa surface un morceau de bois mouillé, pendant qu'il imprime à sa canne un lent mouvement de rotation. Il réchauffe sa pièce, puis il l'introduit dans un moule creux en bois, à deux compartiments séparés, que l'aide rapproche aussitôt; il souffle fortement et donne ainsi à la pièce sa forme et sa dimension. L'emploi des moules en bois, qu'on doit aux Bohêmes, est aujourd'hui répandu dans toutes les verreries. Ils ont le grand avantage de ne pas rayer le verre. On les remplace quelquefois par des moules en terre qui s'usent moins rapidement. Quand on se sert de ces derniers, on les saupoudre intérieurement de résine en poudre, laquelle produit, en s'enflammant, une couche de charbon et une atmosphère de gaz qui neutralisent l'effet que produiraient les petites aspérités du moule.

Pour faire, par exemple, une chope à bière, la pièce, en sortant du moule en bois à deux compartiments, présente la forme A. En refroidissant avec un fer le mors de la canne à laquelle elle adhère, celle-ci se trouve séparée. On enlève la calotte du verre en le tournant pendant quelques instants, suivant la même ligne, sur une barre épaisse de fer rougi B; l'ouvrier touche alors avec son doigt mouillé l'un des points chauffés; il se

produit une fente circulaire qui amène la chute de la calotte supérieure.

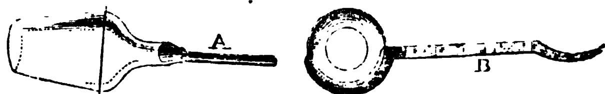


Fig. 17.

La chope est recuite et ses bords sont usés à la roue de tailleur. Ces bords sont l'un des caractères particuliers aux verres de Bohême; ils sont à arêtes vives, moins solides que ceux qui sont arrondis au feu, ainsi qu'on le fait dans nos verreries; mais cette manière de travailler, qui dispense d'*empontir* les pièces, économise tellement la matière vitreuse, qu'on assure que le verre qui n'entre pas dans les pièces de gobeleterie ne représente que le quart du verre fondu, tandis que pour le cristal, il s'élève à la moitié au moins de la matière mise en œuvre. Ce groisil sert, comme on sait, pour les fontes ultérieures, qu'il rend plus faciles.

On vient de voir combien la fabrication de la Bohême est divisée. Chaque établissement ne produisant qu'une petite quantité d'objets fabriqués, ses frais généraux sont nécessairement plus élevés que ceux des vastes établissements qui tiennent la tête de l'industrie verrière en France. C'est là une faible compensation aux avantages qui permettent aux Bohêmes de produire le verre à si bas prix, et qui expliquent, sans la justifier, la prohibition qui, depuis soixante-dix ans, écarte de notre marché les verres allemands. Cette prohibition disparaîtra bientôt devant les nouveaux traités de commerce qui s'élaborent, sans qu'il puisse en résulter un dommage sérieux pour l'industrie du verre en France. Ce n'est guère que pour quelques articles spéciaux, notamment pour la lustrerie, que nos cristalleries ont à redouter la concurrence des Bohêmes. La lustrerie se fait, en Allemagne, dans des conditions de bon marché qu'il n'est pas à désirer, dans l'intérêt de notre classe ouvrière, de voir s'introduire en France.

Fabrication du cristal. Les verres à base de plomb, les cristaux, sont d'origine anglaise. Néanmoins l'analyse faite en 1787, par Fougeroux de Bondaroy, du *miroir* dit de *Virgile*, montre que le

verre plombeux était connu des anciens. Ce miroir, poli sur les deux faces, transparent, mais coloré en vert jaunâtre, contenait au moins la moitié de son poids d'oxyde de plomb. Il se rapprochait plus, par conséquent, par cette forte proportion de plomb, du flint-glass des opticiens ou du strass que du cristal ordinaire. Conservé depuis plusieurs siècles dans le trésor de Saint-Denis, sa fabrication remonte à une époque bien antérieure à celle du cristal anglais. Il n'est, d'ailleurs, nullement établi qu'il ait appartenu à Virgile:

L'existence de cette pièce prouve que si les verres à base de plomb étaient connus anciennement, leur fabrication a été interrompue pendant une longue suite d'années.

Ce sont réellement les Anglais qui ont créé de nouveau cette sorte de verre. L'époque précise de cette importante découverte n'est pas connue. La première verrerie anglaise qui fit des objets de gobeleterie a été fondée en 1557, à Savoy-House, dans le Strand, à Londres. On y employait le bois, comme combustible, et le verre, composé de silice et de potasse, était fondu dans des creusets ouverts. En 1635, sir Robert Mansell obtint le monopole de cette industrie pour avoir remplacé par la houille le bois devenu cher. Mais sa fabrication ne se développa qu'avec lenteur; la gobeleterie de belle qualité venait toujours de Venise, et un demi-siècle s'écoula sans que l'Angleterre pût se passer des produits étrangers. « En fabriquant cette nouvelle espèce de verre, dit M. Bontemps, on dut s'apercevoir que ce verre était plus coloré que celui qu'on avait précédemment fondu au bois. L'effet de cette coloration dut être attribuée à la houille, et les verriers cherchèrent par tous les moyens possibles à combattre cette influence colorante : c'est ainsi qu'ils arrivèrent, sans doute, à soustraire la matière en fusion au contact de la fumée de la houille, en couvrant le creuset d'un dôme qui lui donnait la forme d'une sorte de cornue à col très-court : mais, en protégeant ainsi la matière en fusion, on s'aperçut aussitôt que cette matière ne subissait plus une température aussi élevée : il fallait prolonger la fonte et augmenter la dose du *fondant*, l'alcali : il en résultait une autre cause de coloration, et un verre d'une moindre qualité. C'est ainsi qu'on fut amené à ajouter au lieu d'alcali un fondant métallique, l'oxyde de plomb, qui fut employé en aussi grande quantité qu'on le put, sans produire une coloration

tirant au jaune.... Ce fut, sans doute, vers la fin du dix-septième siècle que ce résultat fut produit, car, vers 1750, quand le célèbre opticien Dollond faisait ses premières expériences sur l'achromatisme, le flint-glass à base de plomb semblait être depuis longtemps en usage pour les services de table. »

Le cristal (*flint-glass* des Anglais) n'avait pas, d'ailleurs, dans l'origine l'éclat et la blancheur qu'il possède aujourd'hui. Ce n'est que lentement et sous l'influence des perfectionnements apportés par la chimie à la purification de la potasse, et surtout à la fabrication du minium, que les cristaux français et anglais sont arrivés à soutenir avec avantage la comparaison avec les plus beaux verres de Bohême, dont la teinte est toujours un peu jaunâtre, et qui n'ont pas d'ailleurs, à cause de leur plus faible densité, l'éclat des verres à base de plomb.

L'industrie du cristal en Angleterre a été longtemps entravée par le droit d'intérieur (*Excise duty*), qui pesait sur ce produit, comme sur toutes les autres sortes de verre, et qui quelquefois représentait au delà de trois fois la valeur de ces produits. Cette taxe, établie vers 1695, a été fréquemment modifiée, en raison des besoins du trésor public : ce n'est qu'en 1845 qu'elle a été entièrement supprimée par Robert Peel. Les cristalleries anglaises se ressentent encore aujourd'hui des habitudes de lenteur que leur imposaient les exigences du fisc.

La fabrication du verre à base de plomb en France n'est pas ancienne. C'est en 1784 que le premier four à cristal *anglais* fut établi à Saint-Cloud, par M. Lambert. Quelques années plus tard, cette usine a été transportée à Montcenis, sous le nom de *verrerie de la Reine;* elle a cessé de travailler en 1827.

Vers la même époque, le cristal fondu au bois, et à pots découverts, était fabriqué dans la verrerie de Saint-Louis (Moselle). En 1787, M. de Beaufort, directeur de cette usine, présentait à l'Académie des sciences différentes pièces en cristal à l'imitation du *flint-glass* des anglais : un rapport de Macquer et de Fougeroux de Boudaroy constate la bonne qualité de ces produits.

La cristallerie de Baccarat (Meurthe), fondée vers 1815 par M. d'Artigues, et acquise en 1823 par MM. Godard et Cie, est devenue un établissement modèle, tant pour la perfection et la variété de ses produits, que pour le bien-être qu'elle assure aux nombreux ouvriers qu'il emploie.

Les deux cristalleries de Baccarat et de Saint-Louis ont été pendant longtemps en possession du marché intérieur. Aujourd'hui il existe à Clichy, à Bercy, à Lyon, etc., des usines qui, réunies, entrent pour un quart environ dans la production du cristal français.

Cette fabrication a pris en Angleterre un grand développement. Il y existe, d'après ce qui a été dit dans l'Enquête par M. Godard, environ 80 cristalleries ayant 100 à 120 fours, et produisant pour 40 millions de francs de cristaux. La moitié de ces produits sont destinés à l'exportation.

La Belgique produit aussi une assez grande quantité de cristaux, notamment dans l'usine du Val Saint-Lambert, près Liége. Les cristaux belges sont à très-bon marché; mais, comme verres de luxe, ils sont inférieurs à ceux qu'on fait chez nous et en Angleterre. On fait aussi en Belgique ce qu'on appelle le *demi-cristal*. C'est un verre à base de chaux et de soude, d'une fabrication soignée, intermédiaire, pour le prix et pour la qualité, entre le cristal et le verre ordinaire.

Comme qualité, notre cristal n'est ni supérieur, ni inférieur au cristal anglais. Ce dernier est quelquefois plus blanc, plus brillant, plus limpide; mais notre fabrication est plus égale, et pour ses formes elle obtient à l'étranger une préférence marquée. Les anglais ont conservé, pour les cristaux de luxe richement taillés, des formes lourdes et épaisses auxquelles se prête merveilleusement, d'ailleurs, un verre doué, comme le cristal, d'un grand pouvoir réfringent et dispersif.

On admirait à l'exposition universelle de Londres de 1851, une fontaine en beau cristal de MM. Osler, de Birmingham; elle ornait le centre du transept de la nef. Sa hauteur était de 8 mètres; son poids n'était pas moindre de 4 tonnes, déduction faite des montures. Les pièces nombreuses qui la composaient étaient très-habilement agencées.

Les deux grands candélabres de Baccarat, de 5m.25 de hauteur, portant chacun 90 bougies, étaient l'un des plus beaux ornements de l'exposition de Paris en 1855. Ils n'étaient pas moins remarquables par l'élégance de la forme que par la perfection du verre et du travail.

Composition du cristal. Les proportions des matières premières

qui servent à produire cette espèce de verre varient fort peu. On emploie ordinairement :

Sable très-blanc....................	300
Minium................................	200
Potasse...............................	100
Groisil (débris de cristal)...........	300 à 500

On ajoute quelques millièmes d'oxyde de manganèse pour blanchir le verre.

Quelquefois une partie de la potasse (20 à 25 pour 100) est remplacée par du nitre. Cette matière, qui donne du verre très-beau, ne peut pas être employée en quantité trop considérable, d'abord à cause de son prix élevé, ensuite parce qu'elle attaque et ronge rapidement les creusets.

Voici la composition de divers échantillons de cristal :

	1.	2.	3.	4.
Silice..............	61.0	51.1	54.2	57.5
Oxyde de plomb.....	33.0	38.3	34.6	32.5
Potasse............	6.0	7.6	9.2	9.0
Soude..............	»	1.7	0.9	1.0
Alumine............	»	0.5	0.5	»
Oxyde de fer........	»	0.3	»	»
Oxyde de manganèse..	»	0.5	»	»
Chaux..............	»	»	0.4	»
	100.0	100.0	99.8	100.0

Fabrication. On emploie pour la fusion deux sortes de pots ou creusets.

Si le combustible qu'on emploie est le bois, comme on ne le fait guère plus maintenant qu'à Baccarat et à Saint-Louis, et encore pour une partie seulement de la fabrication, les pots sont *découverts*, ronds ou elliptiques, comme ceux qui servent pour les autres sortes de verres.

Pour le cristal à la houille, les pots sont *couverts* et ronds. Les

1. Cristal de Vonèche, fait à houille, analysé par M. Berthier. (L'alumine, l'oxyde de fer, etc., n'ont pas été dosés.)

2. Cristal de Baccarat.

3. Cristal de Choisy-le-Roi.

4. Cristal de fabrication anglaise.

Ces analyses sont de M. Salvétat.

cendres toujours ferrugineuses de la houille et les gaz résultant de sa combustion donneraient, par leur contact avec le verre, des produits d'une mauvaise couleur.

Le bois ne doit être introduit dans le four qu'après avoir été préalablement desséché. A Baccarat, le four à billettes est construit de telle sorte, que les chariots en fer sur lesquels on charge les billettes de hêtre y sont poussés sur un chemin de fer, et y pénètrent par une trappe qui se referme aussitôt. Le chariot qui entre fait sortir le chariot chargé de bois desséché qui se trouve à l'autre extrémité. Le foyer est disposé de manière que la chaleur soit d'autant plus forte que les chariots pénètrent plus avant dans cette étuve. Cette dessiccation est coûteuse, car on brûle une partie de bois pour en dessécher dix; mais elle est indispensable. Sans elle, la température du four de fusion ne serait pas assez élevée, et les produits de la combustion du bois humide auraient pour effet de colorer le cristal, en amenant à l'état métallique une petite partie de l'oxyde de plomb.

La figure ci-dessous représente un four de fusion du cristal à la houille, à pots couverts.

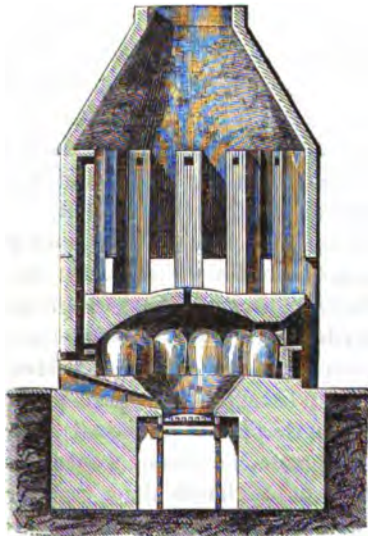


Fig. 18.

Les matières premières qu'on introduit dans les pots doivent

être aussi pures que possible, exemptes surtout de cuivre, de fer et d'autres principes colorants.

Le sable vient de Fontainebleau ou de Champagne. Il est lavé, tamisé et séché. Les Belges et les Anglais eux-mêmes sont obligés d'emprunter leur sable à ces localités, quand ils veulent obtenir de beaux cristaux.

On emploie les meilleures potasses d'Amérique, de Toscane, ou bien la potasse raffinée indigène, provenant du travail de la betterave. Les potasses d'Amérique et, en général, toutes celles qui viennent des cendres de bois, sont soumises à une purification qui consiste à les traiter par une quantité d'eau suffisante pour dissoudre le carbonate alcalin, insuffisante pour dissoudre les sels étrangers (sulfate, chlorure, etc.), qui accompagnent le carbonate. On décante la dissolution bien claire, et on l'évapore à siccité.

La potasse indigène raffinée est aujourd'hui généralement employée en France. Elle est exempte d'oxydes colorants; mais elle renferme encore 5 p. 100 environ de sels de soude qui nuisent un peu à la nuance du cristal, et qui obligent à la raffiner de nouveau quand il s'agit de faire des produits de très-belle qualité. Sans qu'on puisse en indiquer la cause, la soude ne donne pas du verre parfaitement incolore : les verres à vitre, les glaces, vus par la tranche, montrent une coloration verte très-marquée. Aussi a-t-on vainement cherché à remplacer dans le cristal la potasse, en totalité ou en partie, par la soude dont le prix est beaucoup moins élevé. Quelque bien purifié que soit le sel de soude, il ne donne que du cristal verdâtre et sans éclat.

Le minium est fabriqué avec du plomb de qualité supérieure, qu'on tire d'Espagne ou d'Angleterre. On oxyde ce métal dans un four à réverbère, et on met à part les premiers et les derniers produits de l'oxydation ; les produits intermédiaires fournissent l'oxyde le plus pur, le moins colorant ; c'est celui-là qu'on transforme en minium ; à cet effet, on sépare par broyage, lavage et décantation l'oxyde de plomb (massicot), d'avec le plomb non oxydé qui l'accompagne. Le massicot est séché, puis placé dans des caisses de tôle qu'on chauffe dans un four à réverbère dont la température ne dépasse pas celle du rouge obscur. C'est ainsi qu'il est converti en minium.

On essaye cet oxyde en en fondant une petite quantité sur un

fragment d'assiette de porcelaine ou de faïence. S'il est de bonne qualité, la matière fondue est d'un jaune clair. La teinte verte indique la présence du cuivre. Les miniums de qualité inférieure sont employés, selon leur nature, pour les cristaux colorés.

D'autres matières interviennent quelquefois dans la fabrication du cristal. MM. Maës et Clemandot, qui ont à Clichy une cristallerie dont les produits ne sont pas moins recherchés que ceux de Baccarat et de Saint-Louis, ont montré, il y a quinze à vingt ans, que l'acide borique peut jouer un rôle fort utile dans la fabrication des verres de luxe.

La présence de ce fondant permet, en effet, de modifier profondément la nature du cristal; l'oxyde de zinc peut se substituer à l'oxyde de plomb; la soude, la chaux ou la baryte deviennent aptes à remplacer la potasse. Les *boro-silicates* de zinc et de potasse, de potasse et de baryte, de soude et de zinc, fabriqués par MM. Maës et Clemandot, soit sous forme de pièces de gobeleterie, soit pour verres d'optique, sont remarquables par leur éclat, par leur limpidité et par leur blancheur. Mais le prix beaucoup trop élevé de l'acide borique ne permet pas que cette substance puisse servir couramment à la fabrication des verres.

La baryte a été employée dans plusieurs verreries sous forme de carbonate artificiel; il est probable que cette substance finira par prendre rang parmi les matières premières employées dans l'industrie du verre. Elle peut remplacer avec avantage, comme fondant, la potasse ou la soude, et, fabriquée dans des conditions industrielles, elle est d'un prix moins élevé que ces alcalis.

Les substances qui doivent composer le cristal étant mélangées, on enfourne la composition dans les pots. La fonte exige douze à seize heures de feu, le travail douze à quatorze.

La façon du cristal est la même que celle du verre de Bohême, avec cette différence, que presque toutes les pièces creuses sont *emponties;* leurs bords sont, par suite, ramollis au feu. Le travail est d'ailleurs rendu plus facile, tant par suite de la plus grande fusibilité du cristal qu'à cause de sa résistance à la dévitrification, ce qui permet de réchauffer les pièces un plus grand nombre de fois.

Pour faire, par exemple, un pot à eau, la quantité de verre nécessaire étant cueillie et *marbrée*, on souffle pour *faire la paraison*, on introduit la *poste* dans le moule, et on souffle de manière

qu'elle en occupe toute la capacité (fig. 19, A). Le maître-ouvrier, assis sur son banc, reçoit la canne, et la faisant tourner, pare le bout du cylindre avec ses fers, en étrangle le col, ajoute le cordon de verre qui forme les nervures de la pièce.

Pendant ce travail, on a cueilli et marbré au bout d'un pontil un morceau de cristal, qu'on aplatit et qu'on soude au cylindre de manière à former le pied du vase (B, C). La pièce étant ainsi empontie, on la refroidit avec les fers dans sa partie supérieure; au moyen d'un coup sec, on la détache de la canne qui a servi à la souffler; fixée à son nouveau pontil, elle est réchauffée; son col est d'abord évasé, puis découpé avec des ciseaux (D). Les bords sont arrondis par une nouvelle chaude. Cependant, on a préparé un cylindre plein qu'on a légèrement aplati et courbé avec les pinces. Ce cylindre est posé et ajusté par le maître-ouvrier, de manière à former l'anse du pot à eau (E), dont la façon se trouve ainsi terminée.

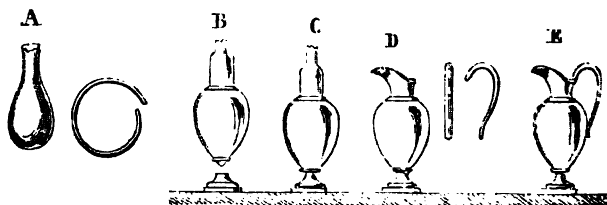


Fig. 19.

La pièce est enfin *dépontillée* et portée sur une fourche à l'arche à recuire.

Cette arche consiste ordinairement en une longue galerie qui reçoit une partie de la chaleur perdue du four de fusion, et qui en est comme un appendice.

L'ouverture par laquelle on introduit les pièces aussitôt qu'elles sont terminées, est contiguë à la hotte du four de fusion. Ces pièces sont placées dans des caisses plates en tôle, qui cheminent lentement, une fois pleines, vers l'autre extrémité de l'arche, où elles arrivent froides et recuites.

Cristaux moulés. On fabrique un grand nombre d'objets par la compression du cristal mou dans des moules à plusieurs

pièces en bronze ou en fonte. Ces objets, qu'on obtient avec une grande économie de temps et de matière, sont faciles à distinguer, par leurs arêtes mousses, de ceux qui ont été taillés. Quelquefois une pièce ébauchée par le moulage est achevée par la taille plus ou moins riche qu'elle reçoit.

Taille des verres et des cristaux. On se sert, pour ce travail, de meules verticales en fer, en pierre ou en bois, mues avec le pied de l'ouvrier, ou bien par un moteur hydraulique ou à vapeur. La pièce est dégrossie avec du sable sur la meule ou roue en fer qui reçoit d'un vase supérieur un très-petit filet d'eau. Elle est ensuite doucie sur une meule en grès, puis sur une meule en bois, d'abord avec les boues des sables ayant déjà servi, ensuite avec de l'émeri de plus en plus fin. Enfin, on la polit avec une roue en bois et de la potée d'étain; on termine le travail sur une roue en liége ou garnie de laine et avec du colcotar.

On se sert pour tailler, polir ou graver les verres, tantôt des faces planes et latérales des meules, tantôt de leurs arêtes.

Prix de revient du cristal. D'après M. Émile Godard, directeur de Baccarat, on emploie, pour obtenir 100 kilog. de cristal vénal, 144 kilog. de matières, qui sont :

Sable	72 kil.
Minium	48
Potasse	24
Ensemble	144

Ces matières perdent 13 à 15 pour 100 à la fonte, suivant la manière dont elle est conduite et suivant l'état de ces matières, soit en moyenne 14 pour 100 ou 20 kilogr. On a donc 124 kilogr. de cristal fondu.

La perte est due : 1° à l'évaporation de l'eau de la potasse et à l'acide carbonique qui se sépare de ce sel; 2° au dégagement de l'oxygène provenant de la décomposition du minium; cet oxygène est utile pour brasser la matière et pour brûler les traces de matières organiques que la composition peut renfermer : on a vainement tenté de faire du beau cristal avec la litharge ou avec le massicot; 3° aux matières perdues dans

le mélange et l'enfournement, et lorsque les creusets viennent à casser.

Une portion de ce cristal fondu reste adhérente aux creusets, dont elle constitue l'*enverrage;* une autre portion est séparée avant ou pendant le travail, sous forme d'impuretés qui remontent à la surface du verre fondu : ce sont les *escramures*. Une quantité notable de verre s'attache aux outils, d'où on le retire plus ou moins incrustée de fer; une autre tombe en rognures sous les ciseaux du verrier; il y a, en outre, un certain nombre de pièces manquées, du verre gaspillé par les ouvriers ou leurs apprentis. Tous ces débris pèsent beaucoup plus que le cristal converti en objets vendables; mais tout n'est pas perdu; une partie, après avoir été traitée, triée et nettoyée, rentre dans les fontes suivantes. Le véritable déchet s'élève, en moyenne, à 11 pour 100, soit $17^k.5$. Ainsi 144 kil. de composition représentent $106^k.5$ de cristal fabriqué.

Enfin, pour dépontiller ou fletter le cristal uni et l'amener à l'état convenable pour la vente, on lui enlève environ 6 pour 100 de son poids; de sorte que ces 144 kil. de composition donnent, en définitive, 100 kil. de cristal uni dépontillé. La fonte et le travail de ces 100 kil. exigent 720 kil. de houille.

Pour le cristal fait au bois, on consomme 2 stères 90 de bois séché pour 100 kil. de produit marchand.

Avec ces données et d'autres, empruntées à l'Enquête, on peut arriver approximativement au prix de revient de ces 100 kil. de cristal :

Sable lavé à 3 fr. les 100 kil.	2 fr.	16 c.
Minium à 80 fr. les 100 kil.	39	40
Potasse à 155 fr. les 100 kil. (à 100°)	37	20
Houille à 25 fr. la tonne	18	00
	96 fr.	76 c.

soit environ 1 fr. le kilogr.

Avec la main-d'œuvre, l'intérêt du capital engagé, l'amortissement, etc., le cristal usuel non taillé revient en France à 200 ou 225 fr. les 100 kilogr.; le cristal taillé ordinaire, à 300 fr.

D'après M. Lelièvre, du Val-Saint-Lambert, le cristal fondu, prêt à être travaillé, revient en Belgique à 65 ou 70 centimes le kilogramme.

Quant aux verres ouvragés, aux cristaux minces, aux verres et aux cristaux de couleur, le prix de revient varie à l'infini, en raison de la main-d'œuvre, essentiellement variable elle-même, qu'exige la fabrication de ces produits.

Gobeleterie en verre, fine et ordinaire. Cette branche de fabrication fournit tout ce qui compose le service de table pour les petits ménages, pour les cafés, les cabarets, etc., ainsi que les articles de parfumerie, de pharmacie, de laboratoire et d'éclairage commun. D'après M. Godard-Desmaret, propriétaire de la verrerie de Trélon (Nord), cette fabrication a lieu dans soixante-dix usines; elle active une centaine de fours et occupe 20,000 ouvriers. La quantité de produits qu'elle livre au commerce, en France, s'élèverait à plus de 20 millions de francs.

Les matières premières sont le sable, la chaux éteinte, le sulfate de soude ou le sel de soude. Ce dernier ne s'emploie que pour le verre fin, qu'on désigne aussi sous le nom de *demi-cristal.*

Pour une potée de 250 kilogr., on emploie à Trélon :

Sable..........................	200 kil.
Sel de soude....................	66
Chaux	50

On brule 4 stères de bois pesant 1,540 kilogr. Le prix de revient, pour les matières premières et le combustible, est de 50 fr. 32 c. les 100 kilogr. de produit marchand.

En Belgique, le *demi-cristal* est fondu à la houille, dans des pots couverts, comme le cristal.

Le travail de ce verre étant le même que celui du verre de Bohême et du cristal, je ne parlerai pas plus longuement de cette fabrication. Je dois seulement constater que depuis une quinzaine d'années elle a fait en France de très-grands progrès. On fait aujourd'hui à Rive-de-Gier, à Vallerysthal, à Trélon, etc., des verres ordinaires d'une fabrication assez soignée pour que, dans la boutique du marchand en détail, l'acheteur les confonde quelquefois avec le véritable cristal.

Cristaux et verres incolores, translucides ou opaques. Ces produits forment une transition naturelle entre les cristaux et les verres ordinaires, et les mêmes produits diversement colorés.

Verre d'albâtre. On désigne sous ce nom, ou sous celui de verre *pâte de riz*, le verre avec ou sans plomb qui, sous forme d'objets minces, présente un aspect translucide, d'un blanc laiteux.

Cet aspect paraît dû à de la silice, non encore vitrifiée, qui reste interposée dans la masse sous forme de grains homogènes très-fins; c'est par conséquent du verre travaillé avant qu'il ait subi un affinage complet. On facilite la production de ce verre en ajoutant à la composition une certaine quantité de sulfate de potasse.

Par l'addition d'oxydes colorants, on obtient des verres *pâte de riz* de couleurs variées.

Cette sorte de verre a été produite d'abord par les Bohêmes. Il ne renferme que les éléments ordinaires du verre, et sa composition ne diffère de celle du verre allemand que par une quantité plus faible de chaux. Voici son analyse :

	1.		2.
Silice	80.7	—	79.4
Potasse	17.8	—	16.8
Chaux	0 7	—	2.8
Alumine et oxyde de fer	0.8	—	»
Acide phosphorique	»	—	1.0
	100.0	—	100.0

Verre opale. On ne connaissait guère en France, il y a trente à quarante ans, que cette sorte de verre pour les objets de fantaisie. Il est translucide avec les reflets rougeâtres de l'opale.

On l'obtient en ajoutant au verre ou au cristal environ 10 p. 100 de leur poids d'os calcinés (phosphate de chaux), réduits en poudre très-fine. Le verre fondu est transparent; c'est en réchauffant et en façonnant les pièces qu'elles deviennent opalines.

Émail. C'est un verre dont l'opacité est due à l'oxyde d'étain qu'il renferme; ce corps, en effet, jouant le rôle d'acide, reste interposé dans le verre, ou donne naissance à du stannate de plomb qui ne se vitrifie pas.

1. Échantillon que j'ai analysé en 1845; je l'avais rapporté d'une fabrique de Bohême. J'y ai constaté la présence du sulfate de potasse.

2. Autre verre d'albâtre, analysé récemment par un chimiste allemand, M. Stein.

Quelquefois l'opacité provient de l'acide arsénieux qu'on a ajouté au cristal en assez grande quantité.

L'émail est un verre très-plombeux, très-fusible. Il est employé pour recouvrir les plaques de cuivre ou de fer pour les cadrans de pendule et de montre; on en fait des tubes, des perles, etc.; il entre dans la fabrication des verres doublés ou triplés. Les abat-jours des lampes sont ordinairement en cristal doublé d'émail.

On s'en sert également pour émailler la poterie de fer.

L'un des procédés pour préparer l'émail consiste à faire brûler à l'air un alliage formé de 15 parties d'étain, et de 100 de plomb. On obtient ainsi une sorte de potée d'étain qu'on pulvérise, qu'on délaye dans l'eau, et dont on recueille, par décantation, les parties les plus ténues : c'est ce qu'on appelle la *calcine*.

On fond dans un creuset 200 parties de *calcine* avec 100 de sable, et 80 de potasse purifiée.

Voici l'analyse de trois échantillons d'émail :

	N° 1.		N° 2.		N° 3.
Silice	31.6	—	36.0	—	30.0
Potasse	8.3	—	6.0	—	20.0
Oxyde de plomb	50.3	—	53.0	—	40.0
Oxyde d'étain	9.8	—	2.0	—	10.0
Acide arsénique	»	—	3.0	—	»
	100.0	—	100.0	—	100.0

Voici, en outre, la composition d'un mélange d'émail et de fondants pour les cadrans de pendules. On prend :

Émail blanc (échantillon n° 3)	44
Sable blanc	25
Minium	25
Nitre	4
Cristal ordinaire	2
	100

Verre craquelé. Les verres ou cristaux incolores ou colorés qu'on désigne sous ce nom présentent, sur leur superficie, des dessins irréguliers formant saillie, de la même ou d'une autre couleur que celle de la masse. Leur fabrication, faite d'abord en Bohême, est fort simple : quand la paraison est faite, on la promène sur

une plaque de fer sur laquelle on a répandu du verre concassé en fragments irréguliers. Ce verre adhère à la masse vitreuse. On réchauffe la pièce, on la parc avec les fers, on la souffle, et on termine sa façon par les procédés ordinaires.

Verres et cristaux de couleur. La fabrication de ces produits de luxe, longtemps confinée en Bohême, a pris un grand développement dans les usines françaises depuis 1837, époque à laquelle des prix pour la création de ces produits ont été offerts, sur la proposition de M. Dumas, par la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale. Ces prix ont été remportés par MM. de Fontenay et Bontemps. Le verrier possède aujourd'hui une palette aussi variée et aussi riche que celle du peintre, et il n'existe pas de couleur et même de nuance qu'il ne puisse produire à volonté.

Le verre dissout la plupart des oxydes métalliques, et prend avec quelques-uns des colorations qui n'altèrent pas sa transparence, et qui rappellent souvent la couleur des sels cristallisés formés par ces oxydes. Quelques centièmes d'oxydes, quelquefois beaucoup moins, suffisent pour colorer le verre.

Indépendamment des oxydes de cobalt, de manganèse, de cuivre, de fer, d'uranium, d'antimoine, de chrome, d'autres substances, notamment l'or et l'argent, le charbon et le soufre, sont des matières colorantes pour le verre.

On distingue, comme pour les verres à vitre de couleur, les verres teints dans la masse et les verres doublés ou à deux couches. On fait, de plus, des verres à trois et à quatre couches superposées, dans le but d'enlever ensuite par la roue de tailleur une partie de chacune de ces couches, et de produire ainsi des effets de coloration très-variés. Ces mêmes verres, dont la masse principale est incolore ou colorée, ou bien en verre d'albâtre blanc ou de diverses nuances, peuvent en outre recevoir de la dorure et de la peinture avec des couleurs de moufle. On voit combien sont grandes les ressources dont le verrier peut disposer pour obtenir ces produits de luxe et de fantaisie.

J'indiquerai sommairement les moyens de produire les principales colorations.

Verres et cristaux bleus. On ajoute à la composition 1 à 3 pour 100 d'oxyde de cobalt. L'addition de l'oxyde de manganèse donne une nuance plus violacée.

Violet. Cette couleur se produit avec 2 à 7 pour 100 d'oxyde de manganèse et 1 pour 100 d'oxyde de cobalt.

Bleu céleste. On ajoute 1 pour 100 de bioxyde de cuivre à du verre ou à du cristal riche en alcali. Si le verre est très-siliceux, la couleur est verte.

Vert émeraude. Cette coloration est fournie par 2 ou 3 dix-millièmes de sesquioxyde de chrome. Cet oxyde n'est dissous par le verre qu'en très-petite quantité.

Vert bouteille. On se sert des battitures de fer, dont on ajoute 1 à 5 pour 100 à la composition.

Jaune. 4 à 5 pour 100 d'oxysulfure d'antimoine (verre d'antimoine), et 1 millième de pourpre de Cassius, fournissent le jaune topaze; on obtient aussi cette nuance avec les peroxydes de fer et de manganèse; si ce dernier oxyde prédomine, la teinte vire au brun violacé; avec l'oxyde de fer employé en plus grande quantité, on a le jaune d'or. Les tubes de verre, qui, filés à la lampe d'émailleur, donnent les fils servant à tisser des étoffes de soie et de verre qui ressemblent aux brocarts d'or, sont colorés par ce mélange.

Le sesquioxyde d'uranium donne au verre une belle couleur jaune avec reflets verdâtres (verre dichroïde); cette couleur est la même que celle de l'azotate cristallisé formé par cet oxyde. Pour la produire, on ajoute au verre (exempt de plomb) 2 à 5 pour 100 d'uranate de soude ou d'ammoniaque.

L'oxyde d'uranium, qu'on emploie beaucoup en verrerie, sert à colorer le verre transparent et le verre d'albâtre; avec l'oxyde de cuivre la teinte devient jaune-verdâtre.

Le jaune plus ou moins orangé, ou tirant au brun, est fourni par le charbon très-divisé ou la fumée qui résulte de l'introduction de l'écorce de bouleau ou de la corne dans la matière en fusion; celle-ci est, bien entendu, du verre non plombeux.

L'argent donne, à la température du moufle, une belle coloration jaune-orangé. On l'applique au pinceau sous forme d'une bouillie claire formée de chlorure ou d'oxyde d'argent, de colcotar ou d'argile délayés dans l'essence. Quand la pièce a été cuite au moufle, on enlève à la brosse la poudre d'oxyde de fer ou d'argile qui reste sur le verre. Les verres les plus siliceux, les

moins fusibles, notamment les verres de Bohême, sont ceux qui prennent le mieux cette couleur.

Rouge et rose. On fond dans un petit creuset du cristal ordinaire avec addition de 1 millième d'or à l'état de chlorure. Le cristal présente l'aspect du cristal ordinaire; il a seulement une teinte un peu bleuâtre. On le coule en plaques.

On fait, d'autre part, une paraison de cristal ordinaire à laquelle on fait adhérer un petit fragment de cristal aurifère; en ramollissant ce verre à l'ouvreau, sa couleur rouge se développe; on le rabat avec les fers, on l'étend et on l'égalise sur la paraison.

On a cueilli, avec une autre canne, du cristal ordinaire dont on fait une paraison sur laquelle on fait adhérer celle à deux couches qu'on vient de faire, après qu'elle a été convenablement ramollie. On étend cette dernière sur la nouvelle paraison, et on la rabat comme un champignon, avec les pinces. On a ainsi une pièce composée de trois couches de verre; la couche centrale est aurifère. Cette pièce est alors terminée par les procédés ordinaires.

En opérant ainsi, la couche d'or se trouve garantie d'une fusion qui amènerait l'or à l'état de petits globules offrant l'aspect métallique.

Dans le but d'obtenir le même retrait, on se sert de cristal ayant la même composition.

La pièce est d'une belle couleur rouge-groseille ou rose, selon que la quantité de cristal aurifère est plus ou moins considérable. L'or s'y trouve, dans tous les cas, en quantité extrêmement petite. Par la taille, on entame plus ou moins la couche aurifère, et on obtient ainsi des cristaux blancs avec dessins rouges ou roses.

On produit également la couleur pourpre en appliquant au pinceau sur des verres très-siliceux, sans plomb, du bioxyde de cuivre très-divisé. Le carbonate de cuivre ou l'oxyde bleu hydraté, dont j'ai fait connaître récemment la préparation, conviennent très-bien pour cet usage. On ajoute quelquefois du fer métallique ou des battitures porphyrisées.

Ces verres sont chauffés dans un moufle, au milieu d'une atmosphère réductrice. Il se développe, à la surface des pièces, une belle couleur pourpre qui rappelle celle des vitraux.

Cette même coloration peut être produite également avec du

verre à deux couches, travaillé comme le verre à vitre pourpre dont j'ai parlé précédemment.

Verre noir. Cette couleur résulte d'un mélange d'oxydes de cuivre, de cobalt et de fer.

On l'obtient aussi au moyen du soufre introduit en nature dans la composition. Le verre *hyalithe* qu'on fait en Bohême est ainsi coloré. On ne peut pas dire exactement le rôle que joue le soufre pour produire cette coloration; elle est peut-être due à la formation d'un sulfure.

Verres façon de Venise. La fabrication des verres filigranés, rubanés, à bulles d'air, des *millefiori*, etc., florissait à Venise au quinzième siècle. On trouve, dans les collections, d'anciens verres vénitiens dont la perfection a été rarement atteinte par nos fabricants.

Verres rubanés. On se procure un assortiment varié de petits tubes pleins en émail et en cristal colorés. La fabrication de ces tubes est facile. Je suppose qu'on ait à faire un tube bleu dont la section doit présenter une étoile blanche. Dans un moule plat en fonte, préalablement chauffé, et dans lequel une étoile se trouve gravée en creux, on fait tomber une petite quantité d'émail blanc fondu, qui ne remplit que le creux du moule.

Avec une paraison de verre bleu, on fait adhérer à ce verre l'étoile ainsi moulée. La pièce est parée et tirée avec les fers de manière à former un gros cylindre qu'on ramollit et dont on soude le bout à un pontil; les deux ouvriers, tenant ainsi chacun à leur pontil l'un des bouts du cylindre, s'éloignent rapidement; le cylindre se trouve changé à l'instant en un tube plein et mince de 10 à 15 mètres de longueur, bleu à l'extérieur, avec une étoile blanche à l'intérieur.

On comprend qu'on peut obtenir ainsi des dessins très-variés; vient-on, par exemple, à appliquer sur le cylindre, avant son étirage, un ou plusieurs fils d'émail coloré qu'on tourne en spirale, le dessin qu'on produit conserve sur le tube la même disposition, etc.

Ces tubes sont coupés de longueur, assortis, et rangés en nombre convenable, les uns à côté des autres, sur une plaque horizontale en terre, à rebords, frottée avec de la chaux pour éviter l'adhé-

rence; on roule sur leur surface une paraison de cristal sur laquelle ces tubes se collent.

Le résultat est le même lorsque après avoir placé verticalement les tubes dans un pot en terre, on introduit dans le pot et on y souffle une paraison de cristal. L'adhérence des tubes étant obtenue, la pièce se travaille de la même façon.

La pièce ramollie à l'ouvreau est égalisée avec les fers, soufflée, etc. On obtient ainsi des verres rubanés ou filigranés, avec dessins droits ou à spirales. Ces derniers se produisent en imprimant à la pièce, saisie à son extrémité avec les pinces, un mouvement de torsion.

Serre-papiers en millefiori. Ces boules demi-sphériques, en verre plein, dans lesquelles on voit comme une quantité de petites fleurs à couleurs très-vives, ont été d'abord fabriquées à Venise et en Bohême. Devenues pendant quelques années un objet de mode en France et en Angleterre, elles ont été faites en très-grand nombre et avec beaucoup plus de perfection par nos fabricants de cristaux.

De petits morceaux de tubes en émail, avec dessin intérieur, sont coupés de longueur avec une espèce de hache; on les chauffe au rouge sur une plaque de terre pour émousser leurs angles, puis on les loge, en les assortissant, dans les nombreuses cavités que présente un disque épais en fonte.

En appliquant sur ce disque une paraison de cristal ordinaire qu'on enlève aussitôt, tous ces petits morceaux d'émail restent collés au cristal. On pare la pièce, on l'aplatit, et, le pontil reposant sur le sol, on fait couler sur sa surface horizontale le cristal nécessaire pour la couvrir et pour faire la boule; celle-ci est arrondie avec une spatule concave en bois mouillé. Le serre-papiers est alors séparé du pontil, soigneusement recuit et poli par-dessous à la roue de tailleur.

Dans cette fabrication, on évite avec grand soin d'emprisonner des bulles d'air; le cristal doit être parfaitement affiné, bien exempt de stries qui déformeraient les images, lesquelles se trouvent, d'ailleurs, amplifiées par l'épaisseur que présente la masse vitreuse.

Aventurine. Le verre qu'on désigne sous ce nom, soit à cause

de sa ressemblance avec le quartz aventurine, soit parce que sa découverte a été faite par hasard, *par aventure*, est aussi d'origine vénitienne; sa fabrication se fait à Murano, par deux ou trois verriers, à l'aide de procédés qu'ils tiennent secrets. Aussi ce verre, dont ils ne font à dessein qu'une petite quantité, se maintient-il au prix élevé de 50 à 150 francs le kilogr., selon la qualité.

L'aventurine est un verre jaunâtre, dans lequel se trouve disséminée une infinité de petits cristaux tétraédriques très-nets et très-brillants; ce sont des cristaux de cuivre, de protoxyde de cuivre ou de silicate de cet oxyde. Lorsqu'il est poli, ce verre offre, à la lumière surtout, un aspect chatoyant qui le fait employer dans la bijouterie.

Il est évident que ces cristaux se sont produits au sein de la matière vitreuse quand elle était à l'état liquide. Comme parmi les nombreux éléments qui composent ce verre on rencontre l'oxyde de fer et l'oxyde d'étain, il est très-probable que c'est à la réduction du bioxyde de cuivre par ces métaux qu'on doit attribuer cette cristallisation.

Beaucoup de tentatives ont été faites pour découvrir le tour de main sur lequel repose cette fabrication. Un habile chimiste, M. Hautefeuille, est arrivé, par des essais persévérants, à fabriquer ce verre en assez grande quantité; il vient de publier, dans le dernier bulletin de la Société d'encouragement (octobre 1860), un mémoire dans lequel il indique libéralement les procédés qu'il a suivis.

L'aventurine a été souvent analysée; voici la composition de quelques échantillons :

	1.		2.		3.		4.
Silice...........	65.2	—	67.7	—	60.5	—	60.4
Acide stannique....	traces.	—	2.3	—	»	—	2.5
Acide phosphorique.	1.5	—	traces.	—	»	—	traces.
Acide borique.....	traces.	—	traces.	—	»	—	traces.

1. Analyse de M. Wöhler, faite en 1842.
2. Aventurine de Bigaglia, de Venise, que j'ai analysée en 1845.
3. Échantillon de fabrication plus récente. Analyse de M. Levol.
4. Analyse de l'aventurine rose du commerce, par M. Hantefeuille. C'est la composition dont il faut se rapprocher le plus, d'après ce chimiste.

Cuivre	3.0	—	3.9	—	4.8	—	4.0
Sesquioxyde de fer	6.5	—	3.5	—	3.7	—	2.5
Chaux	8.0	—	8.9	—	6.8	—	8 6
Magnésie	4.4	—	traces.	—	»	—	»
Soude	8.3	—	7.1	}	22.0	—	11.3
Potasse	2.1	—	5.5	}		—	5.7
Oxyde de plomb	»	—	1.1	—	»	—	0.7
Oxyde de manganèse	»	—	»	—	»	—	0.2
Alumine	traces.	—	»	—	2.2	—	3.7
Acide sulfurique			»	—	traces.	—	»
	100.0		100.0		100.0		99.6

Dans les analyses 3 et 4, le cuivre, l'étain et le fer sont calculés à l'état de protoxyde.

D'après M. Hautefeuille, on obtient l'aventurine en fondant l'un des mélanges suivants :

N° 1.	Glace de Saint-Gobain	2000 k.
	Nitre	200
	Battitures de cuivre	125
	Peroxyde de fer	60
N° 2.	Sable	1500
	Craie	357
	Carbonate de soude sec	801
	Carbonate de potasse	143
	Nitre	200
	Battitures de cuivre	125
N° 3.	Verre à vitre blanc	1200
	Sable	600
	Carbonate de soude	650
	Nitre	200
	Battitures de cuivre	125

Quand le verre est bien liquide, on ajoute 38 grammes de fer ou de fonte en tournure fine, enveloppé dans du papier; on les y incorpore en maclant le verre au moyen d'une tige de fer rougie. Le verre devient rouge de sang, opaque, et en même temps pâteux et bulleux; on arrête le tirage du fourneau, on ferme le cendrier, on couvre de cendres le creuset recouvert de son couvercle, et on laisse refroidir très-lentement. Le lendemain, en cassant le creuset, on trouve l'aventurine formée.

On obtient ainsi, à chaque opération, du verre parsemé de cristaux. Néanmoins le produit commercial est difficile à produire, à cause de la répartition irrégulière de ces cristaux dans la masse. Celle-ci est tantôt trop veinée, tantôt cristallisée trop finement, quelquefois trop chargée de bulles qui, à la taille, donnent des points ou des cavités.

On a admis jusqu'à présent que, dans ce verre, les cristaux sont du cuivre à l'état métallique. D'après M. Levol, de regrettable mémoire, ce métal s'y trouverait sous forme de protoxyde. Ce chimiste a constaté qu'en traitant l'aventurine en poudre par une dissolution bouillante de potasse, elle se dissout complétement; si on s'arrête au moment où la masse vitreuse est seule dissoute, on obtient un résidu violet qui verdit à l'air; et si, après avoir recueilli les cristaux, on les traite par un sel mercuriel, ils ne deviennent pas blancs, ainsi que cela arriverait si le cuivre s'amalgamait avec le mercure, ce dernier métal devant se précipiter en présence du cuivre. Comme ils ne changent pas de couleur, M. Levol et M. Hautefeuille admettent que ces cristaux sont formés de silicate de protoxyde de cuivre.

Cette conclusion ne semble pas se concilier avec le fait suivant observé par M. Hautefeuille : la matière cristallisée de l'aventurine est soluble dans l'ammoniaque; la dissolution, qui est incolore, devient bleue au contact de l'air. Ce sont là les caractères du protoxyde de cuivre. Il n'est pas vraisemblable que le silicate formé par cet oxyde, s'il existe, soit soluble dans l'ammoniaque.

STRASS. *Imitations du diamant et des pierres précieuses.*

Ce verre, très-riche en plomb, a été produit à Paris, vers le commencement de ce siècle, par un artiste qui lui a donné son nom. Il a beaucoup d'éclat; il possède à un tel degré les *feus* du diamant, surtout à la lumière, qu'il est difficile de l'en distinguer à la vue. Mais il est très-tendre; il est rayé non-seulement par les pierres dures, mais même par les autres espèces de verres. Sa densité dépasse 4.0, tandis que celle du diamant est représentée par 3.5.

Voici la composition du strass de M. Douault Wieland, déterminée par M. Dumas :

Silice	38.2
Oxyde de plomb	53.0
Potasse	7.8
Alumine	1.0
Borax	traces.
Acide arsenique	
	100.0

Les matières premières qu'on emploie pour faire le strass sont les mêmes que pour le cristal et le flint-glass. On les choisit aussi pures que possible.

Par l'addition d'une petite quantité d'oxydes colorants, le strass prend des colorations qui le font employer pour imiter les principales pierres précieuses. Ainsi on obtient la *topaze* artificielle en fondant 1,000 de strass blanc avec 40 de verre d'antimoine et 1 de pourpre de Cassius; le *rubis* avec le même verre, longtemps chauffé et contenant un peu plus d'or; l'*émeraude*, avec 1,000 de strass incolore, 8 d'oxyde de cuivre et 0,2 d'oxyde de chrome; le *saphir* avec 1,000 de strass et 25 d'oxyde de cobalt; l'*améthyste*, en fondant 1,000 de strass avec 8 d'oxyde de manganèse, 5 d'oxyde de cobalt et 0.2 de pourpre de Cassius.

VERRES POUR L'OPTIQUE. CROWN-GLASS. FLINT-GLASS.

Les instruments d'optique exigent l'emploi de deux espèces de verre ayant des densités différentes; c'est ainsi qu'ils deviennent *achromatiques*.

On sait que la découverte de l'achromatisme est due à Euler, qui eut, en 1747, l'idée si féconde de corriger par l'emploi de plusieurs substances diaphanes l'aberration qui résulte de la décomposition de la lumière dans les verres sphériques.

La théorie d'Euler fut d'abord attaquée par Jean Dollond, célèbre opticien de Londres. Mais cet artiste se convainquit bientôt, par des expériences multipliées, que les verres alors connus et fabriqués en Angleterre sous les noms de *flint-glass* et de *crown-glass*, c'est-à-dire le cristal ordinaire à base de plomb et le verre à vitre en couronne, permettaient de réaliser le projet d'Euler et d'obtenir des lunettes achromatiques. Une patente fut accordée en 1759 à cet opticien, qui présenta bientôt à la Société royale de

Londres une lunette achromatique à triple objectif dont l'existence fit dans l'Europe savante une grande sensation.

Deux célèbres géomètres, membres de notre Académie des sciences, Clairault et d'Alembert, déterminèrent les courbures sphériques des verres de forces dispersives inégales. Clairault reconnut, en outre, qu'on trouvait à Paris un verre dont la force dispersive était plus grande que celle du flint-glass anglais; mais ce verre, très-riche en plomb, qui servait à imiter le diamant et qui était fabriqué par l'artiste *Strass*, « est ordinairement, dit Rochon dans un rapport fait à l'Académie, tellement gélatineux, qu'il est bien difficile de l'employer à la fabrication des objectifs achromatiques. »

En 1766, l'Académie des sciences proposa un prix pour celui qui ferait connaître le meilleur procédé de fabrication d'un verre pesant, exempt de défauts, ayant toutes les propriétés du flint-glass; bien que ce prix ait été décerné en 1773, un autre concours pour la même question fut ouvert en 1786; la valeur du prix fut portée à 12,000 livres.

Malgré ces encouragements, et malgré les efforts de d'Artigues, de Dufougerais, etc., ce difficile problème resta sans solution satisfaisante.

Il était réservé à un ouvrier suisse de porter à un haut degré de perfection la fabrication des verres d'optique. Guinand, né aux Brenets, petit village des environs de Neufchâtel, d'abord apprenti menuisier, puis fabricant de boîtes pour les horloges, se trouva en relation avec Droz, constructeur de figures automatiques, lequel possédait un beau télescope fabriqué en Angleterre. Animé d'un grand désir d'apprendre et d'une persévérance à toute épreuve, le jeune Guinand parvint à en construire un dont la qualité n'était pas inférieure à celle du modèle. Dès que la découverte des verres achromatiques lui fut connue, il entreprit une très-longue série d'essais dans le but d'améliorer leur fabrication. Il parvint enfin à faire des disques de flint-glass parfaitement homogènes, ayant jusqu'à 12 pouces de diamètre; il en obtint même un de 18 pouces, mais qui fut détruit dans un incendie qui éclata dans sa modeste habitation.

La réputation des verres de Guinand arriva jusqu'à Frauenhofer, célèbre fabricant d'instruments d'optique à Benedictbeurn, en Bavière, qui, en 1805, décida Guinand à devenir son associé.

Pendant neuf années, Guinand se livra exclusivement à cette fabrication en Bavière, au grand profit de la réputation des instruments de Frauenhofer.

Guinand avait soixante-dix ans lorsqu'il retourna dans son pays natal avec une pension qui lui était faite par l'établissement bavarois, à la condition qu'il cesserait de produire des verres d'optique, et qu'il ne divulguerait pas les procédés qu'il avait découverts. Mais son esprit ardent et tenace ne put pas supporter longtemps cette contrainte; entrevoyant de nouvelles améliorations, il déchira son traité et se livra de nouveau à ses recherches favorites. Il produisit encore plusieurs lunettes astronomiques d'une rare perfection. Il mourut en 1816, à quatre-vingts ans, au moment où le gouvernement français cherchait à acquérir ses procédés de fabrication. Ces procédés, qu'on crut d'abord perdus, avaient été conservés par son fils, qui voulut les vendre à la Société astronomique de Londres. Mais, les négociations entamées n'ayant pas abouti, une commission, composée de MM. Herschell, Faraday, Dollond et Roget, fut chargée de faire des expériences pour arriver à fabriquer du bon flint-glass; ces essais, auxquels une somme de 150,000 fr. fut consacrée, n'amenèrent aucun résultat manufacturier.

La Société d'encouragement pour l'industrie nationale a été plus heureuse; elle proposa, en 1837, un prix de 10,000 fr. à décerner au verrier français qui aurait livré au commerce du flint-glass de bonne qualité; un autre prix, de la valeur de 4,000 fr., fut proposé en même temps pour la fabrication du crown-glass.

Ces prix furent partagés, en 1839, entre M. Guinand fils, qui fit connaître et perfectionna le procédé inventé par son père, et M. Bontemps, qui avait produit, par le même procédé qu'il tenait de M. Guinand fils, et qu'il avait lui-même amélioré, des masses volumineuses de flint-glass. D'autres récompenses pour le même objet furent accordées à madame veuve Guinand, à M. Daguet, de Solbure, et à M. Berthet, lesquels fabriquent aussi des verres d'optique de bonne qualité en se servant du procédé découvert par Guinand.

Ainsi, grâce à l'intervention de la Société d'encouragement, les procédés de Guinand sont aujourd'hui connus et employés dans plusieurs établissements français et étrangers qui fournissent aux opticiens du flint et du crown de bonne qualité. L'art

de la photographie a beaucoup augmenté la consommation de ces verres.

Malgré ces progrès, la fabrication des disques de flint et de crown pour les grandes lunettes astronomiques présente encore d'extrêmes difficultés. On voyait à l'exposition de Londres, en 1851, un disque de flint de 74 centimètres de diamètre (29 pouces), pesant plus de 200 kilog., fabriqué chez MM. Chauce, de Birmingham, par M. Bontemps; un autre disque de crown-glass, à peu près de même dimension, a été fait depuis dans les mêmes ateliers. Ces verres ont été achetés par l'Observatoire impérial. Bien que leur apparence soit satisfaisante, comme ils ne sont qu'à l'état brut, il n'est pas possible de dire s'ils possèdent toutes les qualités voulues pour faire une bonne lunette. La belle découverte des miroirs argentés, due à M. Foucault, rend aujourd'hui beaucoup moins importante la fabrication si coûteuse et si difficile de ces grands objectifs.

Fabrication du flint-glass. Ce verre, quand il est de bonne qualité, doit être très-dense, très-homogène, entièrement exempt de stries et de bulles, aussi peu coloré que possible; néanmoins la grande quantité d'oxyde de plomb qu'il renferme lui donne toujours une teinte un peu jaunâtre.

La densité varie entre 3.6 et 4.0. Celle du verre léger, du crown, est représentée par 2.5.

Voici la composition du flint-glass de M. Guinand :

Silice	42.5
Oxyde de plomb	43.5
Potasse	11.7
Alumine	1.8
Chaux	0.5
Acide arsénique	trace.
	100.0

Cette analyse est de M. Dumas.

La proportion considérable d'oxyde de plomb que renferme ce verre rend sa fabrication fort difficile; pendant qu'il est liquide, il tend à se partager en couches de diverses densités. De là des variations dans le pouvoir réfringent des couches superposées; de là aussi la déformation des images, qui rend l'emploi du flint impossible dès qu'il présente la moindre strie.

Cette séparation des verres plombeux en tranches plus ou

moins denses se fait également sentir dans le cristal ordinaire, ainsi qu'on peut le constater en examinant avec attention du cristal un peu épais. Comme, d'ailleurs, les pièces sont ordinairement soufflées et assez minces, ce défaut a peu d'importance pour le cristal.

Le tour de main de Guinand, suivi par tous ses successeurs, consiste à empêcher cette séparation en brassant le verre fondu jusqu'au moment où il devient suffisamment visqueux pour que ces couches de densités différentes ne puissent plus se former.

Pour fabriquer le flint-glass, M. Bontemps se sert de la composition suivante :

Sable	100 kil.
Minium	100
Potasse	30

Ces matières sont choisies aussi pures que possible.

La fonte se fait dans un four rond, au centre duquel se trouve le pot, qui est couvert.

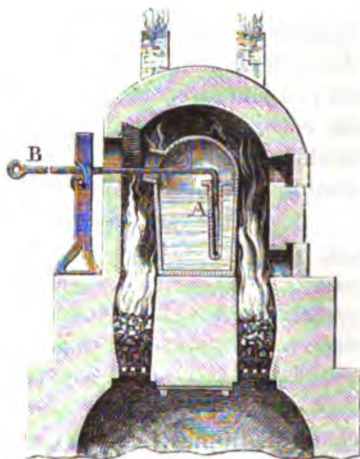


Fig. 20.

Le creuset (fig. 20, A) étant chauffé à part dans un four spécial, on l'introduit par les moyens ordinaires dans le four de fusion également chauffé. Cette opération refroidit le four et le creuset; on les réchauffe avant d'enfourner.

On débouche l'ouverture du creuset, garnie de deux couvercles

destinés à empêcher la fumée de s'introduire dans son intérieur, et on y enfourne le mélange, par portions de 20 à 40 kilogr. Au bout de huit à dix heures, la totalité du mélange se trouve dans le creuset. On chauffe pendant quatre heures, puis on enlève les couvercles et on introduit dans le creuset le cylindre en terre préalablement chauffé au rouge blanc. Une barre à crochet B, horizontale et s'appuyant sur un support à rouleau en fer, est introduite dans la cavité ménagée dans la tête du cylindre avec lequel on fait un premier brassage qui sert à l'*enverrer*. Au bout de trois minutes, la barre de fer est portée au rouge blanc. On l'ôte, on pose le bord du cylindre sur le bord du creuset; ce cylindre flotte, légèrement incliné, sur la masse vitreuse. On remet les couvercles et on continue à chauffer. Cinq heures après, on brasse de nouveau. Les brassages se succèdent alors d'heure en heure, ne durant que les quelques minutes suffisantes pour porter au rouge blanc un crochet de fer.

Après six brassages, on laisse refroidir le four pendant deux heures, pour faire monter les bulles qui ne sont pas encore dégagées, puis on le chauffe à son maximum pendant cinq heures. Le verre est très-liquide et entièrement exempt de bulles. On le brasse sans discontinuer pendant deux heures; aussitôt qu'une barre à crochet est chaude, on la remplace par une autre. Comme on a eu soin de boucher les grilles par-dessous, la matière, en se refroidissant, prend une certaine consistance, et quand le brassage ne se fait plus que difficilement, on ôte le cylindre du creuset. Celui-ci est bouché ainsi que les ouvertures du four. Au bout de huit jours, on sort le creuset, on le casse, et on le sépare avec précaution du flint qui s'y trouve ordinairement en une seule masse. Des faces parallèles polies sont alors faites sur les côtés de cette masse pour examiner son intérieur et voir comment elle doit être débitée. On la scie en tranches parallèles et en raison des défauts qu'elle peut présenter. Quant aux fragments, on en fait des disques en les chauffant à la température nécessaire pour les mouler.

Fabrication du crown-glass. Ce verre présente la composition du verre à vitre et du verre à glace. On emploie même beaucoup, pour les lunettes de spectacle et pour les objectifs de petite dimension, la *plaque* de Saint-Gobain; c'est le verre à glace ordinaire de cette manufacture.

La fabrication du crown est plus difficile, sujette à plus d'accidents que celle du flint. Elle exige une température plus élevée : si on essaye de rendre ce verre plus fusible, il attire l'humidité, il *ressue*. L'obligation d'essuyer fréquemment les verres d'une lunette en ôte le poli et déforme les courbures. Cet inconvénient est surtout très-grand pour les lunettes marines.

Si on veut faire le crown plus sec, plus siliceux, c'est alors contre la dévitrification qu'on a à lutter.

M. Bontemps donne, pour la composition d'une potée de crown, les proportions suivantes :

Sable blanc	120 k.
Potasse	35
Sel de soude	20
Craie	15
Arsenic blanc	1

Ce mélange doit fournir un verre trop alcalin. C'était, d'ailleurs, le défaut qu'on reprochait autrefois au crown fabriqué à Choisy.

La fonte se fait dans les mêmes conditions que celles du flint. La composition est enfournée par portions dans un creuset couvert, de même disposition. Les brassages, le refroidissement, le réchauffage, puis les nouveaux brassages, jusqu'à ce que le verre s'épaississe, présentent, sauf les intervalles de temps qui sont un peu différents, les mêmes phases.

On a employé quelquefois, pour affiner ce verre, un procédé assez original, renouvelé des Bohêmes, qui s'en servent pour hâter l'affinage d'autres espèces de verres. Quand la matière vitreuse est bien liquide, on introduit et on maintient solidement au fond du creuset une pomme de terre piquée avec une fourche en fer. La matière organique, ainsi chauffée, fournit à l'instant des torrents de vapeur d'eau qui brassent et agitent la masse vitreuse; la pomme de terre carbonisée étant retirée du creuset, le verre est travaillé à l'état pateux, ou bien, si ce verre est du crown, le creuset est abandonné à un lent refroidissement.

NOTICE

SUR LA

PEINTURE SUR VERRE

PAR M. SALVÉTAT.

Au nombre des préjugés les plus répandus, on est autorisé à placer la prétendue *perte* des secrets de la peinture sur verre. En France, en Angleterre, en Allemagne, en Suisse, on a dit et répété que l'art de peindre le verre avait été perdu ; le public a cru sur parole, et si de nos jours, la peinture sur verre est pratiquée sur une assez grande échelle, c'est à tort qu'elle passe pour n'avoir été retrouvée qu'au prix des plus grands sacrifices. Nous ne tenterons même pas de réfuter cette opinion. Nous renverrons aux ouvrages qui ont traité de la peinture sur verre, au point de vue historique, archéologique, politique et religieux. Nous nous bornerons à dire ici, en citant M. Ferdinand de Lasteyrie[1], que l'erreur dans laquelle on est tombé, erreur généralement admise, doit être attribuée tout naturellement à l'extinction totale et prolongée des fourneaux du peintre verrier. Déjà du temps de Leviel[2], celui de tous qui a su le mieux résumer les recettes et les procédés de cet art, celui qui, le premier, en a entrepris l'histoire, on croyait l'art de la peinture sur verre

1. F. DE LASTEYRIE. *Quelques mots sur la théorie de la peinture sur verre*, 1852. Paris

2. LEVIEL. *L'art de la peinture sur verre et de la vitrerie.* 1 vol. grand in-folio, accompagné de planches. Paris, 1774.

complétement perdu; ce qui alors seul n'existait plus, c'était le goût des vitraux peints, et par suite la pratique de la peinture sur verre. C'est à cette même conséquence que sont arrivés tous les auteurs qui ont écrit sur la matière, depuis 1757 jusqu'à nos jours, et pour prouver jusqu'à quel point il est enraciné, il suffit de citer les noms de Néry et Kunckel, en 1693, d'Haudicquer de Blancourt, en 1797, de Brongniart, Vauquelin et Fourcroy, en 1802, déclarant nettement avec l'autorité qui s'attache à leur nom que l'art de peindre sur verre était connu et que les procédés avaient été minutieusement décrits.

Je chercherai dans ce travail à faire connaître une série de méthodes qui ont passé de la science dans l'industrie; aux temps primitifs, l'art de la vitrification, abandonné, comme tout ce qui touche à la chimie, aux chances du hasard, n'était guidé par aucune notion certaine et l'expérience seule dirigeait le verrier. De nos jours, la vitrification est une science certaine, qui a ses lois et ses règles immuables : elle a transformé les nombreuses recettes que les livres anciens nous ont léguées, en dosages normaux que l'on peut ériger en doctrine.

Pour éviter toute confusion dans ce qui va suivre, nous devons répéter ici la classification établie, en 1829, par M. Brongniart, toutefois en la modifiant quelque peu, pour définir les différents systèmes de peinture sur verre [1].

On peut diviser en trois classes les différentes peintures sur verre :

La première est celle de la peinture en verre, au moyen de verres teints ou colorés dans la masse;

La deuxième classe est celle de la peinture sur verre blanc ou coloré, avec des couleurs vitrifiables appliquées au pinceau, et cuites au moufle. Elle procède à la fois de la précédente;

La troisième classe comprend la peinture sur glace.

PREMIÈRE CLASSE.

On devrait, avec plus de raison, appeler ce genre de peinture, peinture en verre, car les plus grands effets qu'il présente ré-

1. A. Brongniart. *Mémoire sur la peinture sur verre*. Paris, 1829.

sultent de l'assemblage de pièces de verre de diverses couleurs, destinées à faire le fond des teintes principales.

On emploie donc dans cette première classe, principalement et presque exclusivement, des verres colorés ou des verres doublés, teints dans la masse, c'est-à-dire ce qu'on nomme des verres de couleur. Leur nombre, assez borné dans l'origine, est aujourd'hui très-considérable, depuis que la chimie a fait connaître au verrier des méthodes différentes pour varier la nuance des vitres d'une manière presque infinie. Cette première classe est encore entièrement du domaine de la vitrerie; elle emprunte en effet tous les matériaux qu'elle met en œuvre à l'art de faire le verre coloré, et nous n'avons qu'à rappeler ici les principes exposés dans les Leçons qui précèdent[1].

Il suffit, pour faire ce genre de peinture, de se procurer les verres teints les plus beaux et les plus convenables à son sujet, sous le rapport du ton, de l'épaisseur et de la densité. Ils sont destinés à faire des espèces de teintes plates, en forme de mosaïques. Nous le répétons, on ne trouve, dans ce genre, qu'exceptionnellement les verres à deux couches sur lesquels on fait apparaître des dessins variés en enlevant l'une des épaisseurs soit à la roue, soit au moyen de l'acide fluorhydrique.

SECONDE CLASSE.

La seconde classe contient les vitraux dans lesquels on a joint aux ressources du vitrier et du verrier le talent du peintre, naïf d'abord dans son talent d'artiste, ignorant aussi dans les méthodes d'appliquer les couleurs, mais très-habile plus tard comme coloriste et dessinateur. Cette seconde classe renferme la véritable peinture sur verre, à peine connue des anciens, mais développée chez nous au plus grand degré de perfection depuis que la chimie moderne est venue lui donner les moyens de se développer.

On compose un vitrail dans ce genre en faisant usage de verres blancs ou colorés, et formant des sujets de toutes sortes, figures, ornements et fleurs, avec des couleurs vitrifiables, composées

1. E. Péligot. *Douze Leçons sur l'art de la verrerie.*

d'un oxyde coloré, fixé au moyen de fondants qu'on rend adhérents comme les couleurs d'émail ou de porcelaine, au moyen d'une chaleur rouge qui ramollit le verre et parfond les couleurs.

Le mérite de ces peintures résulte, comme celui des porcelaines, du concours de trois talents : 1° celui du verrier qui fournit les verres teints dans la masse, ou des verres doublés d'un magnifique éclat; 2° celui du chimiste, qui livre au peintre sur verre des couleurs appropriées, belles et bonnes, et qui sait cuire à propos les peintures qu'on lui confie; 3° celui du peintre, qui doit connaître l'effet des couleurs les unes sur les autres, et l'aspect qu'elles offrent quand on les regarde par transmission. On a la ressource de faire des superpositions en peignant les deux faces des verres; il faut aussi se rappeler que les vitraux ont surtout de l'éclat par leur transparence, qu'il faut en conséquence éviter les couleurs épaisses, généralement lourdes et sombres.

On trouve donc dans ce genre la réunion des verres teints dans la masse. des verres colorés rehaussés d'ombres, des verres blancs surchargés des couleurs que la palette du peintre verrier peut fournir : on retrouve les plombs que soudent les uns aux autres les verres différents dont le vitrail se compose.

Ces peintures sont fixées au feu; les couleurs, incorporées dans le verre, sont assez solides pour résister aux influences atmosphériques, quand elles sont bien composées et suffisamment cuites. Si les peintures sur verre, exécutées sur verre blanc, sont en général d'un aspect froid et glacial, il n'en est plus de même de celles dans lesquelles l'artiste tire à la fois partie de la richesse des verres teints dans la masse, des verres doublés et des verres blancs pour obtenir les carnations ou d'autres parties d'effets particuliers.

Les verres qu'on nomme doublés sont, dans ce genre de vitraux, d'une grande utilité. On sait qu'ils sont formés de deux couches de verre superposées, l'une blanche, l'autre colorée; il suffit de faire disparaître en tout ou en partie le verre coloré pour obtenir sur le fond conservé des dessins monochromes en teintes plates ou modelés, qu'on peut peindre ensuite et colorer par les méthodes de peinture applicables aux verres complétement blancs. On met à nu le fond blanc, ou par la roue, ou par l'acide fluorhydrique li-

quide ou gazeux : on évite ainsi l'abus des plombs. Au reste, placés avec discernement, les plombs ajoutent à l'effet loin de lui nuire; on les a même, dans beaucoup de circonstances, regardés tellement comme nécessaires qu'on les a souvent figurés par un large trait noir lorsqu'on ne pouvait en mettre de réels.

TROISIÈME CLASSE.

La troisième classe est tout à fait moderne : c'est la peinture sur glace; elle paraît entièrement due à M. Dihl, célèbre manufacturier, qui vivait au commencement de ce siècle.

Dans ce genre, tous les plombs ont disparu; on ne fait plus usage que de verre blanc : les couleurs d'application font à elles seules tous les frais de la coloration; elles ne diffèrent que peu des couleurs employées à la production des vitraux de la deuxième classe, mais il faut apporter les plus grands soins à la cuisson des plaques vitreuses, qui se cassent facilement quand on les porte sans précautions à la température rouge sombre, nécessaire pour fixer les peintures.

En raison de l'épaisseur de la glace et de l'imperfection des couleurs qu'on savait préparer il y a quarante ans, M. Dihl comprit qu'il ne pouvait pas peindre des deux côtés d'une même glace, de manière à ce que les contours se superposassent constamment les uns sur les autres dans toutes les positions où l'on regarderait le tableau; il eut alors l'idée de peindre sur une seconde glace les parties les plus vigoureuses, de manière à superposer les deux surfaces peintes. Dans ces conditions, la peinture est entre deux glaces, et l'on obtient de cette façon des tableaux d'un effet agréable; le prix de semblables vitraux est forcément assez élevé.

C'est encore à cette sorte de peinture qu'il faut rapporter les glaces peintes à la Manufacture impériale de Sèvres, pour la chapelle de Dreux.

Mais à l'époque à laquelle ces immenses travaux furent exécutés, les progrès de la chimie avaient appris à préparer des couleurs assez fusibles pour s'incorporer par le fait d'une température convenable dans la surface de la glace, assez intenses et brillantes pour n'avoir pas besoin de recourir à la superposition de deux glaces.

Dihl a fait les premiers tableaux de ce genre, de 1800 à 1802, et la Manufacture de Sèvres en a produit un tout à fait semblable en 1809, mais uniquement comme *fac-simile* de ceux de Dihl. En 1845 et 1847 elle établit six grandes glaces pour la chapelle de Dreux : depuis lors, on n'a rien fait en ce genre, parce qu'il n'a pas beaucoup d'application, et parce qu'il faut une fortune considérable pour pouvoir jouir de ce luxe.

Sur une échelle beaucoup plus restreinte cependant, on a peint sur des vitres d'un seul morceau, soit des bouquets, soit des figures allégoriques destinées à l'ornementation des salles de bains, des boudoirs, des chambres à coucher. On s'est aidé, depuis les premiers essais, des ressources offertes par les méthodes de l'impression; on comprend l'heureuse influence sur les prix de revient des vitraux que peut exercer la voie rapide du transport monochrome ou chromotypographique. Dans ces derniers temps, on a pu mettre à profit la chromolithographie.

La fabrication des couleurs vitrifiables ne devaient présenter nulle part de plus grandes difficultés que dans ce genre de peinture sur verre, privée du secours des verres teints dans la masse. Aussi est-ce la préparation de la palette du peintre verrier, propre à cette sorte, que nous allons envisager ici comme étant la donnée la plus générale. Si, dans la première classe, les couleurs sont directement fournies par le verrier, dans la deuxième classe il faut avoir recours aux couleurs d'application; celles qu'emploie le peintre qui se trouve en présence des obstacles de la peinture sur verre blanc peuvent très-bien être employées pour établir la peinture de troisième classe. Nous allons les définir ici; décrire le moyen de les reproduire de qualités convenables, et à coup sûr, tel est le but que je me propose dans ce travail.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Mais avant d'aborder cette question, nous pouvons en quelques mots poser plusieurs règles générales, dignes d'être prises en sérieuse considération, lorsqu'on veut faire de bons vitraux dans quelque classe qu'on les range.

L'effet que doit produire un vitrail, lorsqu'il est mis en place, dépend d'une foule de conditions sur lesquelles on ne saurait trop insister.

Le choix de l'artiste qui compose le carton, le choix du sujet selon la place que la verrière doit occuper, la composition du tableau, la manière de le peindre, le style des ornements, les qualités archéologiques, l'harmonie des couleurs, la nature du verre, la mise en plomb elle-même, sont autant de conditions essentielles pour la bonne exécution d'un vitrail.

Le choix de l'artiste, celui du sujet, la composition du tableau, le style des ornements ne nous occuperont pas ici; nous serions entraînés trop loin, et nous n'avons pas, nous l'avouons, la compétence nécessaire pour trancher les difficultés qui séparent en deux camps les peintres verriers, dans l'un, ceux qui refusent au vitrail, d'une manière absolue, la possibilité de figurer de véritables peintures, et dans l'autre, ceux qui ne comprennent pas de peinture sur verre au delà des copies serviles des sujets religieux que nous ont transmis les artistes naïfs des douzième et treizième siècles.

Il faut, en tout état de chose, tenir compte évidemment de la destination de l'édifice qu'on décore et de ses dimensions. Une église étroite ne saurait être traitée comme un monument religieux de première importance, et les vitraux d'appartement admettent des genres qui seraient déplacés dans des basiliques. La véritable mission de la peinture sur verre est de concourir à la richesse des édifices destinés au culte[1]. Ce n'est donc que par exception qu'elle peut trouver sa place dans les palais ou les constructions civiles d'une moins grande importance.

Le moyen âge, il est vrai, l'admettait volontiers dans la décoration des châteaux et des maisons particulières, mais depuis lors le goût a bien changé. Nous voulons, avant tout, aujourd'hui de l'air et de la lumière; or les verrières peintes obscurcissent le jour et ne s'ouvrent que difficilement.

La peinture sur verre a ses règles; quel que soit le sujet que l'artiste ait choisi, quel que soit le talent avec lequel il l'exécute, il risque d'échouer s'il ne tient compte de certains effets dus à la nature même des choses.

Une des qualités essentielles de la peinture sur verre est la clarté; il faut que tout le monde puisse y lire sans peine et sans confusion; adopter un large parti pris dans l'ornementation, une

1. F. de Lasteyrie. *Quelques mots sur la peinture sur verre.* Paris, 1852.

grande simplicité dans la disposition des différents plans et dans l'exécution des détails, telles sont les règles générales auxquelles le peintre doit s'astreindre. Vue généralement à de grandes distances, la verrière doit saisir tout d'abord par l'ordonnance générale des masses; aussi tout détail inutile dans l'action, comme dans la couleur, ne s'harmonisant pas directement avec l'ensemble de la composition, amoindrit-il l'effet du tableau.

A côté de ces principes généraux, nous devons indiquer quelques règles particulières, variables assurément avec la nature des sujets qu'il s'agit de traiter et de la place qu'ils doivent occuper. Une figure isolée, des sujets formés de différents groupes, une vitre légendaire exigent autant de combinaisons d'espèces toutes différentes.

Les figures isolées doivent être élancées, nobles; le repos leur convient mieux que l'action; toute attitude violente, toute pose forcée doit être soigneusement évitée. Des draperies sans trop d'ornements, massées simplement, permettent aux figures de se détacher à de grandes distances.

Le style légendaire peut se comprendre de deux façons différentes, comme il l'a été au douzième et au treizième siècle, et comme on le retrouve, trois cents ans plus tard, dans les verrières dites de la renaissance.

Dans le premier cas, la vitre légendaire se compose d'un nombre indéterminé de petits sujets, renfermés dans des cartouches de formes variées, généralement groupés de manière symétrique, se détachant sur un fond de couleur souvent orné et s'encadrant dans une bordure commune. Les plus beaux exemples de ce style primitif sont fournis par les vitraux du treizième siècle; mais il ne faut pas que l'admiration du passé fasse copier servilement la barbarie d'un dessin par trop naïf. Au reste, le principal mérite de ces vitres résulte de la puissante harmonie des couleurs dont elles sont dotées, et le mieux est de ne les regarder que comme des mosaïques transparentes dont l'effet est la conséquence de l'éclat du verre coloré. Il faut donc éloigner toute cause qui tendrait à diminuer cet éclat Eviter le modelé des figures, être très-sobre de nuances variées, briser le fond de la verrière par quelques ornements très-simples, pour éviter que les

sujets fassent tache : tels sont les préceptes à suivre et dont le peintre sur verre peut se bien trouver.

Vers la fin du quinzième siècle, les vitres légendaires perdirent leur aspect de mosaïque primitive et se complétèrent par de véritables peintures. « Ce genre de vitres légendaires, dit M. Ferdinand de Lasteyrie, atteste certainement un art des plus avancés ; c'est de la vraie peinture et souvent de la bonne; mais il n'est pas prouvé qu'au point de vue de la décoration cette altération des fonds de couleurs aux magnifiques reflets constitue un véritable progrès. Dans tous les cas, l'exécution en est beaucoup plus difficile puisqu'elle exige, outre la connaissance des styles, une main exercée et un grand talent de peintre; elle est aussi beaucoup plus dispendieuse, et ne saurait convenir pour une foule de verrières placées à de grandes distances de l'observateur. »

Il est donc permis de dire qu'en fait de vitres légendaires, le style primitif est susceptible de beaucoup plus d'application que celui qui a pour type les monuments du seizième siècle.

Suivant la place qu'on lui destine, la nature de la composition, la grandeur des figures, un vitrail doit être traité comme une œuvre de simple décoration, ou peint comme un véritable tableau. Un travail comme heurté, grossier, convient assez aux figures destinées à être vues de loin. Un travail trop serré, trop fini, donne des nuances plus froides et plus grises dans ces circonstances. On sait aussi que l'emploi du verre teint dans la masse produit des effets plus puissants que l'application des couleurs vitrifiées sur le verre blanc.

On admet encore généralement que les verres blancs de fabrication moderne sont trop réguliers, trop transparents et trop minces pour servir à faire de bonne peinture sur verre ; on cherche donc, dans beaucoup de cas, à diminuer cet excès de qualité. D'autre part l'homogénéité du verre peut avoir pour inconvénient, en donnant une pâte presque inaltérable, de priver le vitrail de cette sorte de patine que dépose le temps et qui jette sur le tableau comme un voile harmonieux. Dans les anciens vitraux, l'épaisseur est toujours inégale ; les verres sont gauches, et blancs ou teintés, ils sont bulleux, striés, et comme vermoulus. Leur surface, altérée sous l'influence du temps, se recouvre d'une croûte saline adhérente qui préserve le tableau de la crudité qu'on reproche aux

peintures modernes, pour lesquelles on n'a pas fait usage des moyens spéciaux propres à remédier à ce grave défaut.

Nous ferons remarquer, toutefois, que pour les vitraux d'appartements qu'on peut voir de près et qui doivent recevoir une peinture finie, il faut, au contraire, faire choix d'un verre aussi pur que possible, aussi plan, net et parfait que le commerce peut le fournir aujourd'hui.

Le choix et la disposition des couleurs est ce qu'il y a de plus important dans la peinture sur verre. Nous venons de dire les qualités du verre en lui-même, blanc ou teinté dans sa masse. L'harmonie résulte de l'intelligence avec laquelle on juxtapose les couleurs les plus propres à se faire valoir, et de l'art avec lequel le peintre sait employer les ressources de sa palette pour colorer les parties claires ou modeler celles qui sont obtenues par le verre coloré dans son épaisseur; enfin, la position de la verrière influe singulièrement sur l'effet qu'elle peut produire.

S'agit-il d'éclairer une chapelle obscure, le peintre pourra peut-être à peine donner à son vitrail un éclat suffisant. S'agit-il, au contraire, de décorer une baie largement ouverte, se détachant sur le ciel, l'harmonie peut être entièrement détruite par la lumière trop vive qui traverse les vitres. Et d'ailleurs, il ne convient jamais, pour la sainteté des églises, qu'on puisse, étant dans la chapelle, se trouver distrait par le mouvement des passants circulant au dehors.

On comprend donc qu'il y ait des cas où de toute nécessité la transparence du verre doive être amoindrie. Nous avons déjà dit qu'un choix judicieux des verres remédie suffisamment à cet inconvénient. Les vitraux anciens sont recouverts d'une couche de poussière qu'ils doivent à leur vétusté. Mais dans quelques exemples qu'on pourrait citer, il est évident que la patine seule n'est pas suffisante pour faire disparaître la transparence. Sans doute, l'action des agents chimiques contenus dans l'atmosphère sur les vitres de la qualité des verres anciens doit, avec l'aide du temps, altérer l'éclat de leur surface, mais il est incontestable qu'on retrouve encore la trace évidente d'une couche vitrifiée de dépoli sur une des surfaces des anciens vitraux, apposée pour amortir la transparence du verre[1].

1. S. Bertrand. *Peinture sur verre.* Troyes, 1845.

Actuellement tous les artistes ne sont pas du même avis quant à l'utilité du dépoli. « Les uns, dit M. de Lasteyrie, hardis coloristes, se fient à la puissance des tons du verre qu'ils emploient et à l'habileté de leur pinceau pour maintenir leurs œuvres dans les conditions de translucidité les plus convenables. Les autres, plus épris d'un succès présent que d'une réussite lointaine dépendant en grande partie de l'action des années, abordent franchement la question, et pour faire par eux-mêmes à leurs vitraux la part de lumière qu'ils trouvent la mieux appropriée, ils les enduisent extérieurement d'une couche de dépoli vitrifié. »

Quel que soit le genre de vitraux qu'on adopte, qu'on veuille faire de la mosaïque (première classe), ou qu'on désire tirer parti des verres blancs et des verres teints dans la masse modelés par des couleurs vitrifiées à des températures convenables (deuxième classe), il faut réunir, enchâsser les diverses parties d'une même fenêtre par des plombs ou des armatures. Sans vouloir décrire ici les méthodes au moyen desquelles on fabrique les plombs, comment on les soude, de quelle façon on enchâsse les morceaux de verre entre leurs ailes, il nous paraît convenable de présenter quelques observations sur la manière dont ces accessoires indispensables de la peinture sur verre doivent être placés pour venir en aide à la peinture, au lieu de lui nuire, ce qui malheureusement n'arrive que trop souvent.

La place la plus naturelle des plombs est le contour extérieur des objets ou des figures. Cette règle générale, facile à suivre quand il s'agit de vitraux mosaïques, exige plus d'art, quand on l'applique à des compositions grandioses d'un style plus élevé, où l'harmonie générale résulte de la dégradation des tons. L'opacité des plombs contribue, en effet, également à doubler l'énergie des parties sombres ou à compromettre l'éclat des parties lumineuses.

S'il s'agit d'une tête, il est admis qu'elle doit être sans coupures et d'un seul morceau; si des draperies claires l'entourent, les draperies peuvent être prises dans la même feuille de verre, mais il ne faut pas que les dimensions soient trop grandes; en général, la sertissure des figures ne nuit pas à l'effet, les mauvaises coupures sont inadmissibles. L'usage des plombs accorde plus de relief aux draperies qui environnent les visages. Cette vérité ne saurait être mise en doute; telle robe ou tel manteau présente

souvent une étendue considérable; mais il serait nuisible à l'effet d'ensemble de la faire dans un verre d'un seul morceau. On la découpe en plusieurs fragments en se servant des détails du vêtement, ceinture, écharpe, poignets, manches, collets, etc.

A défaut de ces ressources, on emprunte aux plis des étoffes, en ayant soin de choisir ceux qui sont le plus dans l'ombre.

Lorsque le ciel offre dans une composition une étendue considérable, et qu'il ne peut être obtenu d'une seule pièce, les plombs ne peuvent plus être dissimulés. On le divise par bandes horizontales dont les limites concordent avec les tringles des armatures; l'œil s'accommode moins des petites coupures formées par les sections verticales qu'on emploie quelquefois.

Quoi qu'il en soit, le peintre verrier doit, dans la disposition des coupures, tenir compte de la difficulté de la mise en plomb; il faut éviter les tours de force et écarter les obstacles inutiles qui conduisent en tout cas à des augmentations de dépense.

Nous signalions tout à l'heure l'importance de l'armature. On nomme ainsi le châssis de fer rendu rigide par des traverses de même métal, qui donne à la verrière la solidité que le plomb seul ne lui donnerait pas.

Lorsqu'on veut décorer une fenêtre à meneaux, un très-petit nombre de barres transversales peuvent suffire; mais dans les fenêtres modernes à très-large baie, d'autres barres verticales ou cintrées sont indispensables pour compléter l'armature et remplacer les meneaux.

On ne voit que très-peu de variétés dans la monture des anciens vitraux; ce sont de fortes barres de fer carrées à la distance d'environ un mètre les unes des autres, et entre chaque barre de fer deux ou trois tringles parallèles et équidistantes. Cependant dans quelques vitres légendaires, les barres de fer artistement contournées dessinent la forme de chaque médaillon.

Depuis que la peinture sur verre a repris faveur, on a cru bien faire en substituant, aux anciennes armatures, des châssis en fer posés de champ et forgé de façon à présenter des feuillures destinées à recevoir les panneaux du vitrail.

Ensuite au lieu de la réduire à un système de lignes horizontales équidistantes, on a voulu perdre la monture dans les traits du dessin, comme on le fait généralement pour les plombs. Mais ces innovations sont accompagnées d'inconvénients de différents

genres, au nombre desquels il faut citer le désaccord qui résulte pour les tableaux des larges ombres portées par une lumière oblique.

Les préceptes que nous venons de rappeler ont une telle importance, que nous avons cru devoir les mettre en tête de cette étude. Nous les regardons comme de premier ordre, et même à notre sens, ils priment les connaissances plus techniques, au sujet desquelles nous pouvons maintenant entrer dans quelques détails.

La peinture sur verre, considérée dans l'acception du mot la plus générale, est une partie intéressante, peut-être la plus délicate de l'art d'employer les oxydes métalliques pour colorer par la fusion les différentes matières vitreuses. Peu connue des anciens, sa pratique a été portée dans ces derniers temps à un rare degré de perfection; mais sa théorie avait été négligée, et ce fait avait conduit un homme éminent, qui préludait en 1800 par de fortes études à une immense réputation, à réunir méthodiquement toutes les observations éparses sur les matières colorantes en usage dans l'art de la vitrification.

On a remarqué, disait M. Brongniart[1], « qu'un des signes les plus certains des progrès que fait une science vers sa perfection est la possibilité qu'elle laisse de réunir les faits qui la composent en un corps de doctrine, d'où l'on peut déduire des principes généraux; c'est à cette époque, seulement, qu'elle mérite le nom de science, et c'est à l'exposition de ces principes, ainsi généralisés, qu'on a donné le nom plus imposant qu'exact de philosophie de la science. »

« Les arts, qui sont souvent plutôt une branche d'une science que la simple application d'une de ses parties, présentent des faits également susceptibles d'être réunis en un corps de doctrine; il suffit qu'ils soient pratiqués par des hommes habitués à saisir des rapports et à tirer des conséquences pour qu'ils reçoivent bientôt ce genre précieux de perfection. »

« Les savants que des spéculations plus élevées éloignent de la pratique de ces arts en apercevront alors plus facilement les

1. Alex. Brongniart. *Essai sur les couleurs obtenues des oxydes métalliques et fixées par la fusion sur les différents corps vitreux,* — *Annales des mines*, 1802, p. 58.

principes; ils pourront appliquer plus directement leurs recherches aux progrès des arts, dont la marche, guidée par le raisonnement, sera plus assurée, plus directe et plus rapide. »

Ces lignes, écrites il y a près de soixante ans, expriment éloquemment les desiderata de l'industrie, et j'ai voulu les prendre pour but de mes efforts dans le service qui m'est confié depuis vingt ans à la Manufacture impériale de Sèvres. J'ai donc réuni toutes les compositions dont je pouvais être certain par une expérience de plusieurs années, pour former un ensemble représentant assez exactement la théorie de la fabrication des couleurs propres à la peinture sur verre. Je vais les exposer.

Lorsqu'on a fait une étude attentive des couleurs vitrifiables destinées à peindre l'émail ou les porcelaines dures et tendres[1], on comprend de suite qu'il ne doit pas y avoir une grande différence entre les palettes du porcelainier et celles du peintre verrier; les unes et les autres ont les mêmes principes colorants; elles ne diffèrent guère que par les proportions dans lesquelles on mélange l'oxyde au fondant, qui, dans tous les cas, remplit le double but de donner de l'éclat à la couleur et de la fixer, comme le fait l'huile dans la peinture à l'huile. Mais nous devons faire remarquer qu'un grand nombre de couleurs d'émail ou de porcelaine ne conviennent point à la peinture sur verre; privées du fond blanc qui les fait ressortir et vues par réfraction, plusieurs changent entièrement de ton; elles prennent une teinte sale qui ne peut pas servir. D'autres sont opaques sans transparence; elles n'apportent au verre, mis entre l'œil et la lumière, aucune nuance qui leur soit propre; on ne peut en obtenir qu'une sorte de grisaille.

La peinture sur verre procède, ainsi que nous l'avons dit, par des moyens différents;

Tantôt elle met en œuvre des verres teints dans la masse, et nous renvoyons, pour la fabrication des différentes nuances que le

1. Les renseignements qu'on va lire peuvent aussi s'appliquer à la fabrication des verres et cristaux décorés par couleurs d'application. Il suffit de modifier la fusibilité des fondants à l'effet d'obtenir des couleurs assez fusibles pour devenir propres à la décoration des cristaux, même les plus tendres au feu. On doit à M. J.-F. Robert, de Sèvres, le développement de cette industrie essentiellement française. J'en ai suivi les progrès, depuis 1840, avec le plus vif intérêt.

verrier travaille et découpe, aux notions données par M. E. Péligot [1] ;

Tantôt ces verres sont encore des vitres sur une face desquels se trouve une lame mince de verre coloré, qu'on enlève ou à l'acide fluorhydrique ou à la roue, pour mettre à nu des parties qui doivent rester blanches ou recevoir par application des couleurs variées.

Tantôt on applique au pinceau, ou pour modeler ou pour colorer, d'autres couleurs qu'on fixe au feu. Si les couleurs doivent avoir pour but de modeler une draperie, un verre de couleur, elles peuvent être opaques ; du noir ou du brun suffisent. S'il s'agit de colorer un verre blanc ou de modeler une draperie colorée directement sur du verre incolore, la couleur doit être transparente.

De là, dans la peinture sur verre, l'emploi généralement simultané de ce que nous appelons couleurs proprement dites et de certaines de ces matières que j'ai désignées sous le nom de *transémaux*, c'est-à-dire émaux transparents [2].

Les procédés de fabrication des couleurs et des transémaux que je vais décrire permettront de faire entrer dans le domaine de la peinture sur verre un assez grand nombre de produits qui n'avaient été jusqu'à ce jour préparés que pour le service de Sèvres, et dont l'industrie pourra tirer quelque avantage. Les progrès réalisés par la peinture sur émail et sur porcelaine auront ainsi contribué, je n'en doute pas, à faire avancer cet art, qu'on regardait comme perdu, et qui, au contraire, offre maintenant au peintre des ressources que nos pères n'avaient point à leur disposition.

COULEURS PROPREMENT DITES.

J'admets, avec M. Brongniart, qu'il n'y a pas de combinaison entre l'oxyde colorant et le fondant qui le fait adhérer; il n'y a qu'un simple mélange. S'il y a combinaison, elle n'est généralement que partielle, et ne peut qu'altérer le ton au lieu de lui

1. E. Péligot. *Douze Leçons sur l'art de la verrerie. Annales du Conservatoire*, t. II, p. 483.

2. Laboulaye. *Complément au Dictionnaire des Arts et Manufactures*, p. 221.

donner de l'éclat. Le verre peint est, dans ce cas, le résultat de l'apposition d'oxydes colorants, simples ou composés, sur une lame de verre, apposition rendue permanente par la fusion du fondant, qui, se trouvant en outre en quantité suffisante, englobe et noie toutes les particules colorantes, de manière à les aviver dans leur nuance et à rendre leur surface assez glacée pour ne pas s'altérer sous les injures du temps. Le délayant, dans la peinture sur verre, n'a qu'un objet momentané, celui de rendre la couleur facilement employable et les retouches possibles; l'application de la chaleur doit le faire disparaître.

Les conditions générales auxquelles doivent satisfaire les couleurs pour verre sont connues : elles doivent être fusibles, inaltérables sous l'influence des agents atmosphériques, indestructibles sous l'action d'une chaleur déterminée par le ramollissement du verre lui-même. La fusibilité de la couleur se trouve liée d'une matière intime avec son inaltérabilité; elles dépendent, l'une et l'autre, de la composition chimique du fondant dont on a fait usage.

FONDANTS.

Si, dans la peinture sur la porcelaine, les fondants sont nombreux, l'expérience a prouvé qu'on pouvait les réduire à deux pour le verre. J'évite dans l'un le fondant général, la présence du borax, et j'y substitue l'acide borique, de manière à former un verre plombo-boraté, qui se laisse à peine altérer par l'eau bouillante.

Fondant général. Je le compose en faisant fondre :

Sable d'Étampes	100
Minium	600
Acide borique cristallisé	300

Le produit de la fonte est un verre ambré qu'on coule sur une plaque de fer et qu'on pile pour le mélanger aux oxydes colorants. Quelques praticiens ont fait usage d'un fondant dans lequel il entre :

Sable d'Étampes	200
Minium	600
Borax	100

Je les indique simultanément pour qu'on les compare.

Fondant de pourpre. Les fondants que nous venons de donner contiennent beaucoup trop de plomb pour fournir les pourpres et les carmins, avec le précipité pourpre de Cassius; on compose pour les couleurs d'or un fondant particulier plus altérable; mais, malheureusement on n'en connaît pas de meilleur : il est formé de :

Sable	400
Minium	300
Borax fondu	600

On fond comme plus haut. On retire avec les pinces ce fondant qui ne prend que l'aspect pâteux.

MATIÈRES COLORANTES.

Les matières colorantes employées dans la peinture sur verre ne peuvent être que des oxydes métalliques simples ou composés, ou des sels indécomposables à la haute température à laquelle les couleurs doivent être fixées. Les oxydes simples et les composés d'oxydes sont assez nombreux. Les sels indécomposables ne figurent qu'en petit nombre, les conditions auxquelles ces matières doivent satisfaire sont dépendantes de celles auxquelles doivent satisfaire les couleurs elles-mêmes.

Les oxydes simples sont moins employés que dans la peinture sur porcelaine; en général ils manquent de transparence, et vus par réfraction, ils ne laissent passer qu'une lumière faible, terne et sans coloration.

Les oxydes composés sont plus fréquemment employés, et c'est surtout dans la fabrication des couleurs proprement dites, que leur rôle est important.

Lorsqu'on calcine ensemble certains oxydes (alumine et oxyde de cobalt; oxyde de chrome et oxyde de cobalt; oxyde de fer et oxyde de zinc), on obtient des matières inertes, arides, de couleurs généralement très-différentes de celles du mélange avant calcination. Je crois pouvoir admettre qu'il y a combinaison entre les divers oxydes constituants, et que toutes les raisons qu'on a fait valoir pour prouver que les alliages et les différents verres sont des combinaisons définies ont autant d'autorité dans leur application au fait en question. Ce qui, dans le cas présent,

semblerait donner gain de cause à l'hypothèse d'une combinaison, c'est évidemment le changement dans la nuance des oxydes mis en présence, nuance souvent très-différente. La coloration de l'oxyde formé peut d'ailleurs être reproduite avec une certaine constance. On peut objecter que la combinaison ne semble pas se faire en proportions atomiques ; mais ne peut-on pas admettre aussi, que les composés de cette nature jouissent, comme les alliages et les verres, de la propriété de dissoudre en quelque sorte, sans altération apparente dans les propriétés organoleptiques, une quantité variable, qui souvent même peut être assez considérable, de l'un ou l'autre des éléments plus simples dont ils sont formés ?

Considérés à ce point de vue, les oxydes composés conduisent à des remarques assez intéressantes qui rapprocheront assurément ceux formés par voie ignée, des pierres précieuses artificielles cristallisées, obtenues par M. Ebelmen[1], et ceux produits par voie de précipitation, au sein du liquide, du ferrite de chaux, préparé par M. Pelouze[2]. Je fais remarquer que cette manière d'envisager la composition des oxydes colorants dans la peinture sur verre est nouvelle et qu'elle simplifie beaucoup la théorie de cet art.

Nous pouvons étudier maintenant les dosages qui conduisent aux meilleurs résultats; on fait par des méthodes variées, qui ne sont que des applications des principes généraux que je viens d'exposer, des oxydes verts, noirs, bruns, ocreux, rouges et bleus, qui servent de base à la peinture sur verre et qu'on complète dans la coloration par l'application de la série des couleurs tirées de l'or (carmin, pourpre et violet).

Je vais passer en revue la préparation de chacune de ces matières colorantes.

Noirs. Le même oxyde sert pour faire les noirs et les gris; on fait du gris en mettant la couleur mince; on fait du noir en soutenant l'épaisseur.

Lorsqu'on précipite par le carbonate de soude un mélange de sel de protoxyde de fer et d'oxyde de cobalt, et qu'on laisse

1. Ebelmen. *Recueil de travaux scientifiques*, t. I, p. 120.

2. Pelouze et Frémy. *Traité de chimie*, 2e édition, t. II, p. 448.

l'oxydation du composé s'effectuer sous l'influence de l'air atmosphérique, on obtient une combinaison des oxydes de fer et de cobalt qui, suffisamment calcinée, fournit un oxyde noir de très-bonne qualité. Voici les doses que j'emploie.

On prend :

1 équivalent oxyde noir de cobalt....................	38 gr.
2 équivalents fer métallique. = 1 équivalent d'oxyde Fe^2O^3.	56

On fait dissoudre séparément l'oxyde de cobalt à chaud, le fer métallique à froid, l'un et l'autre dans l'acide chlorhydrique ; les deux dissolutions sont étendues d'eau, filtrées et réunies; on précipite le mélange par le carbonate de soude en léger excès, on lave à grande eau, jusqu'à ce que tout l'oxyde de fer ait passé à l'état de peroxyde de fer hydraté, entièrement jaunâtre; on dessèche et on triture le tout avec deux fois son poids de sel marin; on calcine dans un têt à rôtir, à une chaleur rouge sombre; on lave à l'eau bouillante et on fait sécher. Enfin quand l'eau de lavage n'enlève plus rien, on calcine de nouveau dans un creuset à une chaleur très-intense. L'oxyde ainsi formé est une combinaison définie qui a pour formule Fe^2O^3,CoO.

Verts. L'oxyde de chrome est la base des verts; on le combine avec l'alumine pour lui donner de la transparence, avec l'oxyde de zinc pour le modifier en jaune, avec l'oxyde de cobalt et l'alumine pour le transformer en vert bleuâtre.

L'oxyde de chrome se prépare à l'état de sesquioxyde pour les besoins de l'art de la vitrification, en enflammant un mélange d'une partie de soufre pour deux de bichromate de potasse. On place le mélange bien trituré dans un têt à rôtir ; on fait au centre une petite cavité qu'on remplit de soufre en fleurs, et auquel on met le feu. Le produit de la combustion au contact de l'air est de l'oxyde de chrome, qu'on lave à l'eau bouillante ; il n'est point nécessaire d'agiter pour renouveler les surfaces du mélange incandescent; la combustion se propage d'elle-même jusqu'au centre de la masse. L'oxyde de chrome qui résulte de la réduction du chromate de potasse est lavé, séché et calciné de nouveau, pour éliminer un peu de soufre qui n'a pas été brûlé. Il est alors d'un très-beau vert.

Cet oxyde est combiné avec l'alumine pour préparer un vert

jaune transparent : on prend de l'alumine hydratée; quand on précipite en présence de beaucoup d'eau par l'ammoniaque caustique de l'alun ammoniacal ou potassique, on obtient un hydrate d'alumine à 62 p. 100 d'eau. C'est à cet hydrate que j'emprunte l'alumine; je prends, pour le calciner après porphyrisation :

1 équivalent sesquioxyde de chrome vert.............	76 gr.
1 équivalent alumine hydratée : $Al^2O^3,9HO$...........	125

on lave à l'eau bouillante pour extraire le chromate de potasse qui se forme aux dépens d'un peu de potasse retenu par l'hydrate d'alumine, ou conservé d'abord opiniâtrément par l'oxyde de chrome que les eaux de lavage, même bouillantes, n'en débarrassent pas toujours complétement : il y a là quelque chose d'analogue à ce que M. Chevreul a désigné sous le nom de *phénomènes de teinture.*

Le vert bleuâtre s'obtient en suivant la même méthode et d'après les mêmes principes; on prend :

$\frac{1}{2}$ équivalent sesquioxyde de chrome..................	38 gr.
1 équivalent oxyde de cobalt.......................	38
1 équivalent alumine = alumine hydratée.............	125

on calcine et on lave à l'eau bouillante.

Bruns. Lorsqu'on combine ensemble le peroxyde de fer et l'oxyde de zinc, en présence de quantités plus ou moins considérables d'oxyde de cobalt ou d'oxyde de nickel, on obtient des oxydes bruns plus ou moins foncés, plus ou moins chauds, qui sont, dans la peinture sur verre, d'une très-grande utilité. On prépare ainsi du brun rougeâtre, du brun de bois, du brun sépia et du brun noirâtre.

On prépare séparément, pour les réunir ensuite, les dissolutions suivantes dans l'acde chlorhydrique :

2 équivalents fer = 1 équiv. sesquioxyde de fer Fe^2O^3....	56 gr.
1 équivalent de zinc = 1 équiv. d'oxyde de zinc ZnO....	33

auxquels on ajoute ou de l'oxyde de nickel ou de l'oxyde de cobalt 2 grammes. On traite exactement comme il a été dit plus haut pour le noir, à cette exception, toutefois, qu'on néglige la deuxième calcination. L'oxyde lavé, qui a pour formule Fe^2O^3 (ZnO,CoO),

ou Fe^2O^3 (ZnO, NiO), est d'un beau brun rougeâtre; si l'on a fait usage du nickel, le produit est d'un ton plus chaud.

Le brun de bois et les autres bruns ne diffèrent que par la quantité d'oxyde de cobalt ou d'oxyde de nickel. Voici les dosages :

	Bois.	Sépia.	Noirâtre.
Fer	56	56	56
Zinc	33	33	33
Oxyde (CoO,NiO)	4	12	38

Ce dernier a pour formule Fe^2O^3,ZnO,CoO.

Dans ces préparations, la nuance brune est maintenue par la présence de l'oxyde de zinc; en effet, on obtient avec le fer seul et le zinc le ton qu'on nomme brun-jaune.

Ces oxydes exigent, pour leur préparation, du temps et des soins minutieux qui élèvent leur prix de revient au delà de ce qu'il convient à de la peinture courante. Aussi se borne-t-on généralement, et surtout pour modeler les surfaces obtenues par les verres teints dans la masse, à l'emploi de brun de fer pur.

Lorsqu'on calcine la couperose à un feu assez violent, on sait qu'il reste un oxyde de fer violâtre; ce corps n'a plus de transparence, et, mêlé sur le verre à du fondant, il adhère en faisant l'office d'un corps opaque; il est noir par transparence et sert à faire les ombres des draperies et des chairs.

Rouges. Les carnations s'obtiennent au moyen du colcotar calciné seulement avec précaution en présence de quantités variables d'alun ou de sulfate d'alumine qui lui communique une certaine translucidité. Cette couleur est l'une des plus délicates de celles qui composent la palette du peintre verrier.

Couleurs d'or. Le précipité pourpre de Cassius sert à obtenir, tout comme dans la fabrication des couleurs de porcelaine, les couleurs dites carmin, pourpre et violet.

Pour préparer le pourpre de Cassius d'une manière certaine, on prend 144^{cc} d'acide chlorhydrique et 72^{cc} d'acide nitrique. On les mêle ensemble; on pèse dix fois 2 grammes d'étain pur laminé qu'on met en réserve pour les faire dissoudre dans l'eau régale précédemment indiquée. Pour cela, 120^{cc} d'eau régale sont répartis dans dix petites bouteilles, 12^{cc} dans chacune; on étend

d'un demi-gramme d'eau froide pour modérer l'action, et on ajoute par petites fractions l'étain métallique qu'on a fait laminer pour l'avoir plus facilement soluble. Ce qui reste d'eau régale est versé sur 3gr,2 d'or pur, et quand la dissolution est complète, on étend d'assez d'eau pour former 500cc; 50cc de cette dissolution sont étendus de 14 litres d'eau et précipités successivement par chaque dissolution d'étain. Les précipités sont mêlés, lavés à l'eau bouillante, et réunis cinq par cinq sur des filtres pour qu'ils se ressuient. Quand le pourpre est suffisamment raffermi, on étend le filtre sur une glace, le pourpre en contact direct avec le verre; on essore sur l'envers avec un linge absorbant, et, ramassant le précipité pâteux avec un couteau à palette, on le place dans un vase, et on le recouvre d'eau pour le conserver humide jusqu'au moment où l'on veut le tranformer en couleur. On ajoute alors du fondant et la quantité voulue de chlorure d'argent.

Bleu. Le plus beau bleu d'application qu'on puisse faire pour peindre le verre est tiré du cobalt : c'est de l'aluminate de cobalt. Rien n'est plus facile que de le préparer; on fait dissoudre à l'état de nitrate :

1 équivalent carbonate de cobalt...............	60
1 équivalent alumine hydratée.........	de 180 à 135

on évapore à siccité et on calcine. Le résidu bleu qui reste au fond du creuset possède une magnifique nuance outremer, qu'on peut rendre turquoise, en ajoutant au mélange une petite quantité d'hydrate d'oxyde de chrome. L'aluminate de cobalt, ainsi formé, correspond à la formule $Al^2O^3 CoO$.

Dépoli. Pour terminer ce que nous avons à dire au sujet des oxydes, nous indiquerons la nature du dépoli dont je me suis servi, tant que j'ai préparé des couleurs pour verre. Le dépoli se fait avec du biscuit de porcelaine dure, finement broyé; le fondant qu'on ajoute pour le faire adhérer à la surface du verre le dissémine sur la feuille diaphane, et interposant entre l'œil et la lumière un corps à peine transparent, ce fondant communique une sorte de teinte sourde qui remplit le but proposé.

On triture :

Porcelaine pilée..........................	300 gr.
Fondant n° 1 ou n° 2......................	200

on étend au putois sur la face du verre qui n'a pas reçu de peinture.

COULEURS FAITES.

Lorsqu'on a, d'une part, les fondants fondus et pilés, d'autre part, les oxydes dans l'état de pureté que nous venons d'indiquer, rien n'est plus facile que de préparer la couleur; la prescription est des plus simples, il suffit de broyer sur la glace avec un grand soin :

Fondant n° 1 ou n° 2........................	25 gr.
Oxyde....................................	10

on obtient ainsi la couleur toute prête à peindre. On verra ressortir la simplicité de ces dosages, en étudiant comparativemen l'ouvrage de Levieil, que j'ai déjà cité, et le Manuel du peintre sur verre, auquel je renverrai surtout pour la partie descriptive de la mise en plomb[1].

Les couleurs d'or nécessitent un peu plus de soin et de plus grandes précautions.

Quand on veut faire du carmin ou du pourpre, on prend l'oxyde que nous vous avons appris à préparer, sous le nom de précipité de Cassius, et on le broie sur la glace avec le fondant dont j'ai donné la composition. On essaye le mélange; si le ton est bon, on le conserve; si la couleur est trop jaune, c'est à l'excès d'argent qu'il faut attribuer cet excès de jaune; si le ton est trop pâle, on ajoute de l'oxyde; s'il ne brille pas, on augmente la dose de fondant.

Pour préparer le violet, on se sert du même précipité de Cassius, mais on ne met pas d'argent, et on remplace le fondant de pourpre par le fondant n° 1.

ÉMAUX POUR VERRE.

Nous avons dit que les couleurs pour verre devaient être surtout douées d'une grande transparence; il ne doit être fait exception que pour celles qui servent à donner les ombres. Peu d'oxydes combinés jouissent d'une suffisante translucidité,

1. Reboulleau de Thoires. *Manuel de la peinture sur verre.* Paris, 1843.

même par l'addition des fondants, pour être employés. On sait que les matières vitreuses sont susceptibles, au contraire, de dissoudre quelques oxydes métalliques simples, et de donner ainsi des verres colorés et transparents. Les oxydes de fer, de cuivre, de cobalt, de chrome, conduisent de la sorte à des matières analogues à ce que nous nommons transémaux; il est bien évident que si les fondants que nous avons décrits peuvent dissoudre les oxydes des métaux que nous venons d'indiquer, nous trouvons dans leur fusibilité propre des éléments convenables pour la décoration des verres.

Or, c'est en effet ce qui arrive : les fondants nº 1 et nº 2 dissolvent avec une grande facilité les oxydes de cuivre, de fer, de chrome, et conduisent à des émaux translucides, qui, couchés sur la surface des verres, les émaillent en leur communiquant leur coloration propre, comme le feraient des couleurs. Ici seulement le fondant est très-fusible, il faut l'appliquer mince, sous peine de voir la couleur d'application se gercer ou se fendiller après la cuisson. L'emploi de ces couleurs complète heureusement la série des tons qu'on peut obtenir au moyen des couleurs proprement dites. Pour ne pas donner à cet article une trop grande longueur, nous ne choisirons que deux exemples. On fait un très-beau jaune bien clair et bien transparent en faisant fondre :

Fondant nº 1	100
Chromate de mercure	6.5

On obtient un vert de cuivre bleuâtre en fondant, en même temps que les éléments qui composeront le flux, de l'oxyde de cobalt, de l'oxyde de cuivre et de l'oxyde de chrome ou du chromate de potasse. On prend :

Sable	10
Acide borique	30
Minium	60
Oxyde de cuivre	8
Chromate de potasse	2
Oxyde de cobalt de Birmingham	2

En supprimant l'oxyde de cobalt et augmentant un peu l'oxyde de chrome, on prépare un vert jaunâtre.

En n'ajoutant que de l'oxyde de cobalt, on prépare un verre

bleu différent du bleu que nous avons déjà décrit, et qui se distingue par une nuance violacée.

TEINTURE DU VERRE.

Ce que nous venons de dire ne serait pas complet, si nous ne disions encore quelques mots d'une sorte de teinture des verres par des méthodes qui rappellent les effets de la cémentation.

On connaît depuis longtemps l'influence qu'exercent les sels d'argent sur certains verres. Lorsqu'on ajoute à du colcotar, à de la terre de Sienne, à de la terre de pipe, du chlorure d'argent ou du sulfure du même métal, et qu'on étend sur une surface de verre le mélange pour le faire cuire à une douce chaleur, si, après le refroidissement, on enlève le principe inerte qui souille la surface vitreuse, on voit celle-ci colorée en jaune plus ou moins intense sur les portions qui avaient été recouvertes.

Tous les verres ne semblent pas également aptes à se colorer ainsi; quelques-uns ne prennent que difficilement une nuance jaune-paille, alors que d'autres, au contraire, se colorent fortement en brun jaune, qui peut aller jusqu'au brun de bois.

J'ai fait plusieurs analyses pour découvrir à quel principe il fallait attribuer cette propriété du verre de se colorer en jaune sous l'influence de l'oxyde d'argent. On a cru pouvoir en accuser successivement l'oxyde de plomb, l'alumine, la soude et la potasse. Mais, après des tentatives et des recherches nombreuses, j'ai dû chercher ailleurs la cause de ce phénomène, et je crois pouvoir l'attribuer à la présence, dans le verre fait, de quelques millièmes d'acide arsénieux. Quand l'affinage du verre a fait disparaître jusqu'aux moindres traces de cet agent, le verre ne prend aucune coloration sous l'influence du jaune d'argent, et j'ai vu des verres ne prendre aucune nuance sur des feuilles qu'on avait eu l'obligeance de fabriquer à ma demande, sans faire intervenir l'acide arsénieux dans la fabrication. Le borosilicate de zinc alcalin que prépare la cristallerie de Clichy ne prend aucune teinte avec le jaune d'argent[1].

1. Ce verre dont j'ai fait l'analyse contient :

Silice	62.90
Acide borique	5.80
Oxyde de zinc	12.00
Potasse	19.30
	100.00

Je n'ai pas remarqué qu'il y eût avantage à préférer le sulfure d'argent au chlorure. Ce dernier sel se prépare avec la plus grande facilité. Il suffit, comme on le sait, de précipiter par de l'acide chlorhydrique une dissolution d'argent dans l'acide nitrique, on lave et on dessèche.

On mêle pour faire le jaune d'argent, qu'on nomme aussi jaune Jean Cousin :

Oxyde de fer	60
Chlorure d'argent	10

On triture. La force de cémentation de cette composition n'est pas épuisée par une première application sur le verre. Après la cuisson, on l'enlève avec une brosse, et pour la faire servir une seconde fois on y ajoute 5 parties de chlorure. On la fait ainsi servir indéfiniment en ajoutant du principe actif.

L'oxyde d'argent n'est pas le seul corps qui puisse teindre le verre par une sorte de cémentation. J'ai vu des spécimens dont j'attribue la coloration à l'oxyde de fer, mais j'ignore par quels procédés ces teintures ont été préparées.

L'oxyde de cuivre peut aussi servir dans des circonstances analogues, mais alors il produit une magnifique couleur rouge rubis, semblable à celle des verres doublés rouges, obtenus au moyen du protoxyde de cuivre. C'est à la cristallerie Saint-Louis qu'on est redevable de ce procédé, qui nécessite une grande habileté.

Un mélange de craie et de sulfate de cuivre, ou de sulfate de chaux et de sulfate de cuivre, est appliqué sur la surface du verre, qui doit être autant que possible exempt d'oxyde de plomb et d'une faible fusibilité. On cuit dans un moufle par les procédés ordinaires; on détache comme pour le chlorure d'argent le corps indifférent qui accompagnait le sulfate de cuivre. La surface du verre est colorée faiblement en une nuance verdâtre sale, qu'il faut convertir en protoxyde de cuivre. On y parvient en cuisant de nouveau le verre dans un moufle au milieu d'une atmosphère réductrice, obtenue généralement par l'introduction des produits fuligineux de la houille, ou de tout autre combustible donnant le moins possible de vapeur d'eau.

Les nuances rouges tirées du cuivre ne rendent pas aux peintres verriers les mêmes services que le Jean Cousin ; on le com-

prend sans peine, à cause des conditions particulières qu'il faut remplir pour ramener et maintenir l'oxyde de cuivre à l'état d'oxydule. Le jaune d'argent, dont on fait un très-grand usage, cuit dans les circonstances ordinaires ; il peut se mettre à volonté sur une ou sur les deux faces du verre, et servir de la sorte à modifier en jaune les autres tons de la palette; il fait alors l'office de glacis, quoiqu'il soit placé sur la face qui n'a pas reçu de peinture. Beaucoup de verts sont obtenus en couchant ce jaune sous des bleus variés. Quant aux pièces vues par réflexion de la lumière blanche, ce moyen donne du noir. La manufacture des cristaux de Saint-Louis avait exposé, vers 1849, des vases en fond bleu sur lesquels on avait apposé du jaune Jean Cousin ; il en résultait des dessins noirs présentant un effet original, et dont il n'était pas facile, de prime abord, d'expliquer la formation.

MOSAÏQUES EN DORURE SOUS VERRE.

Le chœur de certaines chapelles, dans lesquelles les vitraux jouent un très-grand rôle, est souvent orné de mosaïques dont le fond d'or brille du plus vif éclat. Plusieurs de ces chapelles ont exigé des réparations importantes qui ont généralement été faites assez maladroitement par des moyens grossiers, fréquemment à froid, toujours avec des verres différents de ceux qu'il fallait rassortir.

Théophile a donné les moyens dont se servaient ceux qui fabriquaient ces mosaïques [1].

Il est d'autant plus surprenant qu'on n'ait pas imité ces procédés, que le travail de ce prêtre érudit a reçu la plus grande publicité. Je n'ai pas encore trouvé l'occasion d'indiquer la marche qu'il conviendrait de suivre pour restaurer de semblables chapelles, je vais la donner ici.

On prend de l'or battu en feuilles très-minces, tel que le préparent les batteurs d'or ; mais il faut surtout qu'il soit bien privé de cuivre. On place les feuilles d'or dans des doubles de papier quadrillé; le quadrille étant égal à celui des carreaux qui composeront les mosaïques, on coupera le papier avec des ciseaux

1. Théophile, prêtre et moine. *Essais sur divers arts*, traduction par Ch. de l'Escalopier. Paris, 1843, p. 94.

ou à l'emporte-pièce : ce moyen de diviser les feuilles est économique et rapide. On transporte les petites feuilles d'or sur des cubes de verre débités dans du verre à glace, et on recouvre le tout d'une petite plaque de verre mince très-fusible, qu'on choisit dans les feuilles les plus planes et qu'on débite au diamant. On maintient le collage par un peu de colle de pâte, et on fixe au feu de moufle. Lorsque les verres sont bien choisis, le verre de dessus fond et colle la dorure, avant que le verre plus épais qui forme la base des cubes ne se soit ramolli. Il faut régler la température ; en évitant que le verre à glace perde sa transparence, on arrive à la perfection.

Il est probable qu'on tirera parti des données qui précèdent ; elles ont été mises à profit pour la restauration de la chapelle de Germiny-des-Prés, arrondissement d'Orléans (Loiret) ; cette méthode basée sur la superposition du verre est, quand on en a des feuilles assez minces, plus pratique que l'émaillage au moyen de fondant en poudre placé à la spatule, comme l'indique Théophile.

PRÉPARATION DES VITRAUX.

Il ne pouvait entrer dans le cadre de ce travail de décrire tous les procédés pratiques en usage par les peintres verriers. La lecture de l'ouvrage de Levieil, et des traités qui ont paru postérieurement, comblera cette lacune ; elle prouvera d'une manière péremptoire que l'art de la peinture sur verre na pas été perdu, qu'il a seulement cessé d'être pratiqué.

Je me bornerai donc à décrire d'une manière sommaire le travail d'une fabrique de vitraux.

Lorsque le carton est fait et ombré, on l'étend sur une table et on le passe au vernis ; il est ordinairement sec au bout de dix minutes ; on peut alors le manier et le rouler sans crainte de l'effacer ; tous les cartons sont classés dans un magasin ; ils servent un grand nombre de fois dans les établissements organisés au point de vue industriel.

On fait un calque de ce carton, et sur ce calque on découpe les verres pour ne pas détériorer le dessin ; on choisit les couleurs et on contourne le verre sur le profil donné en réservant la place des plombs. On évite de les diviser en suivant des contours délicats ; les angles saillants et déchiquetés des feuilles et

des rosaces sont, par exemple, mis en relief par du noir qu'on fait cuire, pour fixer les détails.

On procède alors au montage du vitrail pour le peindre. On se sert d'une planche et d'une règle sur laquelle on appuie une ou plusieurs parties du verre qui compose le sujet. On entoure de plomb ces pièces, et on les fixe au moyen de pointes de Paris; on place les portions contiguës et de proche en proche, en contournant les plombs et serrant les lames de verre; on compose tout le vitrail ou les parties de ce vitrail, s'il est possible de les séparer pendant le travail Les plombs sont coupés aux points qui paraissent les plus convenables pour des soudures. On met de la résine et on soude.

Le vitrail est alors porté dans un atelier spécial où le jour arrive en pleine lumière; le vitrail est dressé, et les parties par lesquelles la clarté pourrait pénétrer sont tendues de drap noir: on juge mieux de l'effet du travail.

L'artiste monte sur une grande chaise qu'on abaisse ou qu'on élève au moyen d'un treuil, décore et peint les verres de couleur; la couleur est couchée à plat, étendue au pinceau. Avec le blaireau, il dépouille pour faire les demi-teintes, et avec la hampe, il met à nu la surface du verre pour faire les points lumineux. Rarement un feu suffit pour terminer un vitrail. Comme il n'est pas facile de revenir sur des parties ébauchées quand l'ébauche n'est pas cuite, on fixe par une cuisson spéciale ces premières préparations; à cet effet, on démonte le vitrail et on fait passer au moufle les verres qui doivent être cuits. On doit faire en sorte que les parties les plus difficiles à réussir ne passent pas au feu plus de quatre fois. Le verre devient cassant par des cuissons répétées [1].

Les fours sont des caisses ou moufles en fer de $0^m.60$ de hauteur sur $0^m.80$ de largeur et $0^m.90$ de profondeur; à l'intérieur

1. Chevandier et Wertheim, *Annales de chimie et de physique*, t. XIX, p. 129 et 252. J'ai fait à la demande de ces physiciens les analyses des verres qui avaient servi dans leurs expériences pour mesurer les coefficients d'élasticité des différentes sortes de verre et leur cohésion : il résulte de ce travail que les verres à vitre sont les plus résistants, et que le verre à glace est celui qui le suit de plus près.

Le cristal ne doit donc être employé dans la vitrerie que sous de petites dimensions, et avec une très-grande réserve.

dix ou douze planchers espacés d'environ 6 centimètres reçoivent les verres disposés sur une couche de craie ou de plâtre tamisé. L'expérience a fait connaître les places ou réussissent le mieux les verres d'une nuance donnée; les verres qui correspondent aux chairs et figures sont cuits avec plus de soin, généralement dans des moufles plus petits, à des températures un peu plus élevées. Les glaces peintes se cuisent inclinées à 45° sur une plaque de lave enduite de craie.

Quand toutes les parties du vitrail sont terminées, on les monte d'une manière définitive et on fixe les plombs aux armatures en fer.

Il est assez difficile de donner par aperçu les prix de vente des vitraux. Suivant leur grandeur et la valeur du carton, ils sont chers ou à bon marché. Il y en a de 150 francs le mètre carré, d'autres valent 300 francs. On m'affirme que le beau tableau sur verre (l'*Artiste*) fait par M. Maréchal, et que nous avons admiré cette année lors de l'Exposition de Metz, a été payé la somme de 6,000 fr. par cette ville.

L'exemple donné par la manufacture de Sèvres, où M. Brongniart avait fait établir un atelier de peinture sur verre, a été bien vite suivi par nos peintres verriers. Le bel art auquel ont été consacrées les quelques lignes qui précèdent est aujourd'hui très-développé.

Les artistes qui l'exercent sont maintenant en nombre considérable, et nous devons avouer qu'ils joignent généralement au talent des compositions les mérites très-réels d'une exécution irréprochable. Malheureusement en matière d'art, le goût dirige le spectateur; le milieu dans lequel il vit l'entraîne malgré lui, et il est rare que le véritable artiste jouisse de son vivant de la réputation que lui réservent ses successeurs.

Il y a plus: pour les artistes peintres verriers une scission profonde existe entre les diverses écoles; en citant le premier parmi les meilleurs, je craindrais de l'exposer au danger des critiques les plus amères, peut-être même les plus injustes.

NOTE

SUR UNE MACHINE DE M. DIETZ

RABOTANT LES BOIS DE CHARPENTE SUR LES QUATRE FACES,

PAR M. TRESCA.

Nous avons, dans le dernier numéro des *Annales du Conservatoire*, promis de donner une description plus complète de la machine à raboter les bois que M. Dietz a installée dans les ateliers de la compagnie des chemins de fer de l'Est, à Montigny-lez-Moselle.

Cet appareil dont le travail est excellent, et qui fonctionne avec une rapidité remarquable, est représenté dans son ensemble dans la planche 11.

La figure 1 est une coupe longitudinale de la machine et de la fosse sur laquelle elle est établie, et cette coupe est faite suivant la ligne brisée MN de la figure 2. Pour réduire la longueur du dessin, sans diminuer l'échelle nécessaire à la représentation des organes, on a interrompu par une déchirure les longrines, qui dans toute leur étendue n'ont pas moins de $13^m.20$.

La figure 2 est un plan de toute la machine ; on y a placé une pièce de bois X, qui pourrait être d'un plus fort équarrissage, mais dont les dimensions sont telles que les principaux organes restent apparents. La poulie motrice *a*, qui reçoit son mouvement d'une machine à vapeur, est solidaire avec le tambour A, sur lequel sont appliquées les courroies qui font fonctionner les quatre outils. Les pièces à raboter, placées sur le tréteau à longrines, à la gauche de la machine, sont entraînées par l'action d'un toc et d'une chaîne de Galle B, sollicitée par les pignons *bb*, qui reçoivent leur mouvement de la transmission principale de l'atelier par l'intermédiaire d'un renvoi de mouvement. Le bois vient ainsi se présenter aux quatre rabots, respectivement chargés de dresser l'une des quatre faces longitudinales de la pièce.

Le premier rabot circulaire C à axe horizontal est placé à poste fixe au-dessous de la pièce à dresser : son mouvement de rotation lui est donné au moyen de la poulie *c*, dont la courroie motrice, venant du tambour A, n'est pas indiquée sur la figure : on a de même simplifié le dessin en supprimant toutes les autres courroies. Ce rabot C opère sur la face inférieure : les lames agissent contre le sens du mouvement de translation des quatre outils, et il est important d'observer cette condition lors du montage ; s'il en était autrement, la pièce pourrait être lancée par l'action même de la machine, et donner lieu à des accidents graves.

Le rabot D est vertical et également monté à poste fixe : opérant sur la face antérieure de la pièce à dresser, il suffit d'amener à son contact cette face, pour qu'il puisse agir sur elle, quelles que soient d'ailleurs ses dimensions, en épaisseur et en hauteur. La rotation de ce rabot D sur lui-même est obtenue au moyen de la poulie *d*, réunie au tambour A par une courroie croisée, dont la longueur est suffisante pour que ce croisement ne présente aucun inconvénient.

Ainsi rabotée sur sa face inférieure et sur sa face antérieure, la pièce se présente au troisième rabot E, qui est vertical comme le précédent : il doit façonner la face postérieure, et pour cela il est nécessaire qu'il puisse s'éloigner à volonté du rabot D, de manière que l'intervalle compris entre eux puisse être réglé avec toute la précision désirable, suivant l'épaisseur que l'on veut laisser à la pièce en travail. A cet effet, le rabot E, son arbre et sa poulie *e* peuvent à la fois glisser sur quatre entretoises horizontales $e'e'$, dont deux seulement sont filetées, et servent en tournant sur elles-mêmes à éloigner ou à rapprocher le rabot ; les coussinets de l'arbre de ce rabot sont munis d'oreilles dans lesquelles passent les quatre tiges e'. Pour assurer dans toutes les positions le parallélisme, on ne fait tourner au moyen du petit volant e'' que l'une des tiges filetées, et ce mouvement de rotation est transmis à la tige inférieure par l'intermédiaire de deux pignons, dont l'un seulement est représenté sur le dessin.

Le quatrième rabot F, qui termine la série, doit agir sur la face supérieure : son arbre est par conséquent horizontal ; on le fait monter et descendre au moyen des vis respectivement parallèles aux deux arbres inclinés *g*, qui supportent ses paliers. La

poulie motrice de ce rabot est en f; le volant de manœuvre en f'; les pignons de renvoi en g'.

Au sortir de cette opération, la pièce terminée vient se placer sur les quatre rouleaux R, d'où on a le temps de l'enlever avant l'arrivée de la pièce suivante. Le travail est ainsi continu, et l'on verra, lorsque nous indiquerons les vitesses de chacun des organes, ce que peut produire cette puissante machine.

Il est nécessaire d'ajouter que pendant le fonctionnement des rabots, la pièce ne cesse d'être guidée et maintenue, tant par des panneaux, qui forment butoirs, que par des galets de butée, symétriquement disposés par rapport au point d'attaque de chaque rabot. Tel est le rôle des galets s, s, t, t, placés respectivement en face des rabots C et F; les poids dont ils sont chargés s'opposent au soulèvement de la pièce de charpente, ainsi qu'aux ébranlements auxquels toutes les pièces de la machine sont soumises pendant l'action. Pour que ces galets reposent toujours sur le milieu de la pièce de charpente, ils peuvent se déplacer sur les axes horizontaux s' et t', disposés de manière à desservir les rabots auxquels ils correspondent.

La même disposition est réalisée, dans le sens transversal, au moyen des trois galets x, y, z, qui sont symétriquement placés, savoir x et y par rapport au rabot D; y et z, par rapport à E. On n'emploie dès lors que trois galets, qui se manœuvrent à la main, par les manivelles indépendantes x', y', z'.

Les rabots demandent une description spéciale.

La figure 3 représente, en élévation, un rabot complet, garni de ses deux séries de quatre lames.

La figure 4 est une vue transversale de la partie extérieure de ce rabot, prise suivant la ligne K L.

La figure 5 indique mieux la forme du noyau sur lequel sont montées les lames, 1′ à 4′, qui se projettent en lignes ponctuées sur cette vue en bout.

Les deux séries de lames sont respectivement montées sur les deux tourteaux juxtaposés, et séparément représentés par les figures 4 et 5 que l'on vient d'indiquer.

Tous les rabots ont les mêmes dimensions : 0.40 de longueur, sur un diamètre de 0.22.

Pour que, par leur rotation avec leurs noyaux, les lames déterminent sur la pièce de bois des faces absolument planes, on

pourrait comme dans les *tondeuses*, donner à leurs tranchants, la forme exacte d'une hélice. Cette forme a même l'avantage que le point de contact avec la surface à dresser, se déplaçant constamment dans le sens transversal, le travail de pareilles lames ne laisserait, sur la surface rabotée, aucune de ces lignes longitudinales, semblables à celles qui indiquent la reprise d'un rabot rectiligne sur les bois travaillés à la manière ordinaire. Au point de vue de la résistance opposée à l'outil, on doit comprendre d'ailleurs que, le bois n'étant jamais attaqué que sur une petite largeur à la fois, cette résistance est constante et relativement faible.

Pour réaliser d'une manière géométrique ces dispositions, il faudrait armer les noyaux, dans toute leur longueur, de larges nervures en hélice, et appliquer sur chacune d'elles des lames de même forme; mais l'afutage serait alors très-difficile, et M. Dietz a obtenu, d'une manière suffisamment approchée, le même résultat, en employant deux séries de lames, réduites ainsi à une longueur de 20 centimètres, en donnant au tranchant un peu de saillie vers le milieu, et en remplaçant les surfaces héliçoïdes par des plans, tant par rapport aux bras ou appendices du noyau, que par rapport aux lames et aux contre-lames qui complètent le système.

La figure 5 est celle qui représente le mieux l'un des noyaux partiels; les bras inclinés par rapport à l'axe du cylindre, affectent la forme d'un L, sur la base duquel la lame et la contrelame sont fixées; ces derniers organes se voient au contraire beaucoup mieux dans la figure 4.

Quant au montage de ces lames, on voit par cette dernière figure qu'il s'opère facilement, pour chacune d'elles, au moyen de trois boulons : ceux qui correspondent à la moindre saillie des lames, sont emprisonnés dans la fonte par une de leurs extrémités, et l'écrou de serrage est à l'extérieur; pour celui qui est à la partie la plus éloignée du centre, la saillie de l'écrou serait nuisible; on emploie alors un boulon à tête plate, à l'extérieur, et le serrage se fait par un écrou placé, en sens inverse de ceux des autres boulons, sous la nervure.

Les rabots ont une vitesse de 1850 tours par minute, qui est à peu près celle de tous les outils analogues, employés pour la confection des moulures en bois. La vitesse correspondante du

tambour est réduite, d'après les dimensions des rayons, dans le rapport de 1 à 6 : elle est par conséquent de 310 tours par minute, ou de 5 tours environ par seconde, ce qui est déjà considérable et peut-être excessif, car la vitesse à la circonférence, ou celle de la courroie se trouve alors $\pi \times 1.20 \times 5 = 19$ mètres.

En l'absence de toute détermination directe du travail moteur, nous n'avons d'autre élément d'appréciation que ceux, bien incertains, qui résultent des dimensions de la plus petite courroie motrice, que l'on puisse appliquer à la poulie *a*, dont la vitesse à la circonférence est seulement de 6 mètres. Cette courroie dont l'épaisseur est 0,006, et dont la largeur a pu être réduite à 0,100, présente une section de 600 millimètres carrés, qui pourrait facilement transmettre un effort de 300 kil. Dans cette hypothèse le travail moteur serait de $300 \times 6 = 1800$ kilogrammètres ou de 26 chevaux, mais cette évaluation tout hypothétique est sans aucun doute exagérée de beaucoup; la machine à vapeur dont toute la puissance était, dans ces circonstances, employée au seul travail de la machine, a été livrée par M. Dyckoff pour 12 chevaux; la position des bras du régulateur n'indiquait pas qu'elle fût surchargée.

Une pièce de 30 centimètres d'équarissage doit, d'après ces données, dépenser, à la grande vitesse, de 12 à 15 chevaux au maximum.

Le mouvement longitudinal de la pièce à raboter varie suivant les dimensions des faces, entre $2^m.50$ et $4^m.50$ par minute. En admettant la vitesse moyenne de $3^m.50$, et ne comptant la durée du travail effectif que pour moitié, on voit que l'on pourrait dresser par heure $3^m.50 \times 30 = 105$ mètres, ou environ 100 mètres de bois par heure avec un équarissage de 0.30×0.30 environ.

C'est là, en effet, ce que peut faire la machine en travail courant : elle est aussi remarquable par la rapidité de son travail que par l'excellente exécution des pièces qui sont soumises à son action.

Dans cette première machine, le bâti est tout en charpente. M. Dietz dispose aujourd'hui ses bâtis tout autrement : ils sont maintenant en fonte, ce qui permet d'obtenir, dans toutes les parties, une rigidité et une stabilité plus grandes.

L'EXPOSITION DES ARTS INDUSTRIELS

DANS SES RAPPORTS

AVEC LES PROGRÈS DE L'INDUSTRIE.

Les *Annales du Conservatoire* ont cherché à mettre en lumière les faits principaux de plusieurs expositions : chacune d'elles avait son caractère particulier, mais aucune n'était si complétement originale que l'exposition des arts industriels qui vient d'avoir lieu, sans grand bruit, au palais des Champs-Élysées.

Deux cents industriels se sont rencontrés, qui à leurs risques et périls, et tout à fait en dehors de l'administration, ont formé cette première exposition des arts industriels. Sous le patronage de deux sociétés dévouées au progrès, ils ont réuni les produits les plus variés de l'industrie parisienne, dans la production desquels l'art intervient. Cinq grandes salles ont suffi à cette première manifestation : elles ont été généreusement prêtées par M. le ministre d'État, au premier étage du palais des Champs-Élysées.

Dirigée par l'un de nos artistes industriels les plus éminents, M. Guichard, administrée par une commission qui a su en tirer, au profit de la caisse de secours de la Société des inventeurs et des artistes industriels, un bénéfice assez important ; consacrée par des récompenses libéralement mises à la disposition du Jury par M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, cette exposition, si peu qu'elle ait fait parler d'elle, et malgré l'absence de bien des maîtres, répondait à un besoin légitime, qui s'était maintes fois manifesté chez les artistes industriels ; elle nous laisse sans inquiétude aucune, sur la distance encore bien grande, entre nos industries de goût et la plupart de celles de nos voisins. Elle a consacré l'importante intervention des artistes dans l'industrie, et s'est manifestée comme un

moyen d'émulation pouvant parer aux efforts des Anglais pour développer l'enseignement de l'art industriel, sujet sur lequel nous aurons bientôt à revenir en détail.

Les œuvres originales des artistes industriels formaient dans le classement général la première division : elle était bien peu nombreuse, si l'on remarque que le nombre des artistes exclusivement voués à la composition des ouvrages d'industrie ne s'élève pas, à Paris seulement, à moins de mille.

Il y a, du reste, une variété extrême dans les travaux de chacun de ces artistes : plusieurs ont de véritables ateliers de composition qui occupent vingt ou trente dessinateurs : aux uns les dessins de tissus, subdivisés encore en dessins de tapis, de châles, de nouveautés, de dentelles ; aux autres les modèles de papiers peints ou de décoration. Ces peintures, exécutées par grandes touches, doivent être d'une reproduction facile, et constituent un genre tout spécial que l'on désigne sous le nom de peinture décorative. Les bronzes, l'orfévrerie, la bijouterie, la joaillerie, les ornements en fonte de fer, la céramique, les meubles, occupent aussi des artistes spéciaux, dont quelques-uns, parmi les plus considérables, sont accaparés exclusivement par une usine, qui ne travaille que sur leurs données.

Dans la plupart des industries parisiennes, dans celle des bronzes, notamment, la concentration de tous les éléments de production, dans un même atelier, est loin d'être générale : il semblerait même que le nombre des opérations qu'exige l'exécution d'un bronze rende cette concentration presque impraticable. En général, le modèle est fourni du dehors par l'artiste industriel qui a fait la composition : le fabricant fait fondre, monter, ciseler chez des ouvriers qui n'exécutent, dans de petits ateliers, qu'un nombre très-limité de ces opérations.

L'artiste industriel qui crée les modèles de nos fabricants a un talent tout spécial ; il n'est pas comme Raphaël ou comme Delaroche un grand peintre ; il ne saurait pas même exécuter un meuble comme Boule ; mais il a de l'un et de l'autre dans ses œuvres : de l'artiste le goût, l'arrangement, le style ; de l'industriel habile, la connaissance parfaite de la mise en œuvre ; de manière que ses productions, réalisables pour ce qu'elles peuvent se vendre, soient appropriées à leur destination, tout en conservant une forme agréable et un certain cachet de distinction. C'est à ce

point de vue que l'appréciation des œuvres exposées a dû être faite.

Les compositions lithographiées ou gravées de M. Colette, de M. Felon, de M. Riester, ont été estimées à l'égal de la charmante frise de M. Revillon; on a encouragé chez M. Philippe l'artiste qui, suivant les anciennes traditions, fait tout par lui-même; mais on a surtout récompensé, chez les dessinateurs de chaque spécialité, les compositions qui donnent tant de valeur aux produits français.

Les dessins de châles de M. Gonelle, que l'on croirait déjà le produit d'un tissage, les compositions si riches que M. Rambert a faites pour l'orfévrerie, ont été placées aux premiers rangs; mais on n'a pas négligé non plus les dessins pour broderies de M. Roussel, les compositions pour joaillerie de M. Émery-Dufong, qui expriment si bien les effets, que produiront les pierres elles-mêmes, et les peintures de fleurs, destinées à la reproduction, de madame Escallier et de M. Prevost.

Parmi les peintures décoratives on a surtout remarqué celles de MM. Humbert et Oudry.

Les dessins de fleurs de M. Chabal-Dussurgey, pour les tapisseries de la manufacture impériale de Beauvais, la décoration du salon de l'Impératrice, par M. Guichard, indiquent bien, au sommet de l'échelle, le caractère que doivent posséder les œuvres des artistes industriels, que ces messieurs représentaient avec M. Liénard, M. Dieterle et M. Dussauce, dans un jury qui comptait M. Picot, M. Taylor et M. Nanteuil au nombre de ses membres; les arts appliqués, se trouvant ainsi appréciés par l'expression la plus élevée des beaux-arts dans notre pays, les vrais principes si peu connus encore étaient formulés et maintenus avec une incontestable autorité.

La fabrication des tissus utilise un grand nombre de dessinateurs, et si l'on s'étonnait de la perfection avec laquelle les moindres dessins, à détails infinis, sont exécutés, souvent par des jeunes gens qui ne connaissent de l'art du dessin que le seul point qu'ils pratiquent, il serait facile d'en trouver la raison dans le mode de travail adopté dans les ateliers les plus recommandables.

Chaque travailleur a son genre spécial : l'artiste qui les emploie dirige plutôt qu'il n'exécute; son plan général, interprété par un croquis, n'arrive à une forme complète, mais non encore

définitive, qu'en passant par plusieurs mains; les ornements, les fleurs, les paysages, la nature morte, les figures, sont confiés à autant de mains différentes, que le maître retient à leur place, et auxquelles il assigne leur rôle. Dans telle composition, les fleurs formeront le sujet principal, les ornements viendront se grouper autour d'elles, comme pour leur donner un plus grand éclat; dans d'autres cas, au contraire, on donnera à la fantaisie le premier rôle, et les fleurs lui viendront seulement en aide pour égayer certaines parties du sujet. En un mot, la pensée est une, celle du maître, tandis que l'exécution est multiple.

On comprend dès lors à quelle perfection chacun des instruments d'exécution peut atteindre, et pour ce rôle secondaire, il ne faut pour ainsi dire que se mouvoir dans un certain cercle, toujours le même, avec une grande pureté de lignes et une modeste simplicité. Ceux-là ne sont pas les véritables artistes, et ils pourront arriver à leur but, par quelque voie qu'ils y soient conduits. Quant à ceux qui les dirigent, il faut toujours qu'ils se tiennent au courant des procédés de fabrication, comme au courant des belles choses, qu'ils ne séparent jamais le beau de l'utile.

On a souvent discuté sur la meilleure direction à donner à l'enseignement de l'art industriel. S'il s'agit des véritables créateurs, cette instruction ne s'acquerra que par l'étude consciencieuse des beaux-arts; s'il s'agit des seconds plans, toutes les écoles de dessin seront propres à faire acquérir l'habileté de main nécessaire, et le meilleur moyen de faire grandir les jeunes talents, le meilleur moyen de les faire sortir du cercle dans lequel, faute d'une imagination suffisante, ils se sont engagés, consisterait sans aucun doute à leur donner de fréquentes occasions de voir de beaux modèles, dans un musée spécial, formé avec les plus beaux types d'objets exécutés dans les différents genres de fabrication. C'est là le moyen par excellence d'éveiller cette puissance d'imagination qui ne s'acquiert que par l'étude des grands maîtres et des grandes œuvres, et qui doit être surtout éclairée par de profondes connaissances d'architecture et quelquefois d'archéologie.

Cette nécessité d'un musée d'art industriel n'en est pas moins urgente, et alors que l'industrie lyonnaise vient encore chercher ses plus beaux modèles dans la grande ville, au milieu de ce grand mouvement des hommes et des choses, il serait douloureux de

voir que Lyon ait, comme il en est sérieusement question, son musée d'art industriel avant que Paris ait le sien.

En ce qui concerne les produits fabriqués qui forment dans la classification adoptée, la seconde section, nous les connaissons un peu mieux, et il nous sera plus facile d'en dire quelques mots. Ils étaient d'ailleurs subdivisés en quatre groupes distincts : les applications de la peinture, les applications de la sculpture, les meubles et la décoration, enfin les petits meubles et les objets de fantaisie et de goût, qui occupent une part si importante dans l'industrie parisienne.

Dans la première de ces divisions se rencontraient avec les plus beaux spécimens de tapis et de dentelles, toute cette industrie de Berlin, relative aux modèles pour les travaux à l'aiguille. En les réalisant à Paris même, sur une grande échelle, M. Sajou, a su leur donner un caractère plus artistique, et ses compositions coloriées sont certainement supérieures à celles qui nous venaient autrefois de l'Allemagne.

La décoration de la porcelaine, ne pouvait être mieux représentée que par les petits vases de M. Hudel, imités d'Herculanum et de Pompéi; le portrait de Fragonard père, par Mlle Silbermann, et ses miniatures microscopiques sur émail, les fleurs peintes de madame de Saint-Albin, sont également d'une charmante exécution.

Enfin, nous trouvons dans cette catégorie une industrie toute nouvelle, celle de M. Jardin-Blancoud, qui consiste à incruster sur pierres dures, ou sur les divers produits céramiques, des arabesques et des dessins exécutés en métal ou en pâtes différentes, qui sont d'un très-bel effet. Le lit dans lequel ces incrustations se déposent est obtenu par l'action de l'acide fluorique; le dépôt lui-même peut se faire par les procédés galvanoplastiques, avec une perfection inimitable.

Les artistes surtout ont donné des éloges aux peintures exécutées par MM. Gourdet et Adam, comme décoration de glaces, au pourtour et à l'intérieur du cadre. Ce genre de décoration commanderait certainement une grande réserve, et une plus grande légèreté, pour produire son meilleur effet.

Plusieurs industries importantes figurent parmi les applications de la sculpture : les bronzes et leurs imitations y occupent le premier rang : les vrais bronzes, véritables œuvres d'art, ciselés

avec le plus grand soin, et reproduisant jusque dans ses moindres détails la pensée tout entière de l'artiste, ont été considérés à juste titre comme la représentation la plus complète de notre art industriel, dans ce qu'il a de plus élevé. Les imitations en zinc, ou dans quelques cas, en zinc allié d'étain, n'ont pas trouvé grâce devant les artistes qui composaient le jury. On sait que le zinc se coule facilement dans des moules en métal, qu'il en épouse les formes, presque aussi bien que le bronze, mais il n'est point ensuite ciselé, et c'est surtout sur cette différence de main-d'œuvre que porte la différence du prix, celle du métal, quoique très-grande, n'étant à cet égard que secondaire. Les hommes qui sont en droit d'exiger une grande pureté dans les lignes, un bon modelé dans toutes les formes, ne trouvent pas, dans la seule opération du moulage, même dans des moules parfaitement ciselés, ces qualités indispensables, et tout en applaudissant aux persévérants efforts des fabricants d'imitation, pour se procurer de bons modèles, ils regardent leurs produits comme des à-peu-près, qui pourront faire quelque illusion à distance, mais qui ne seront jamais dignes d'un véritable intérêt, comme objets d'art et de goût.

Ce jugement, quelque peu sévère, quoique juste au fond, n'empêchera pas, nous le croyons, l'industrie du zinc d'acquérir encore une plus grande importance. En général, les sujets que l'on exécute en cette matière sont destinés à une grande fabrication : les industriels, comptant sur l'écoulement d'un très-grand nombre d'exemplaires, ne regardent pas à la première dépense du modèle, qui est, le plus souvent, fourni par des artistes habiles : les dépenses qu'exige la bonne confection et la parfaite ciselure du moule n'arrêtent pas non plus le fabricant, et, l'exécution finale ne fût-elle qu'approchée, il nous semble qu'en empruntant forcément à l'original sa physionomie et ses grandes lignes, les surmoulés ne sauraient constituer des œuvres absolument dépourvues de toute qualité artistique. Répandus, grâce à leur bas prix, dans toutes les conditions sociales, ils nous semblent, par cela même, destinés à répandre le goût du beau dans les masses, et à remplir sous ce rapport une mission, sinon aussi haute, au moins aussi importante que les bronzes.

Ces faux bronzes ne conviennent certainement ni pour la décoration des demeures princières, ni, à cause de leur couleur

artificielle et peu solide, aux objets d'un usage journalier, mais il convient de leur conserver cependant leur vraie place parmi les objets décoratifs, et c'est à ce point de vue, particulièrement, que nous signalerons les belles et grandes figures chinoises de M. Boy, qui décoraient le centre du salon d'honneur, et un certain nombre de petits bronzes de fantaisie, ayant vraiment du caractère, et qui formaient la partie la plus intéressante de l'exposition de M. Blot.

Quant à la fabrication des vrais bronzes, loin d'avoir à souffrir de la prospérité de celle du zinc, elle ne s'est jamais présentée d'une manière plus digne et sous un aspect plus satisfaisant. La tendance est vraimènt marquée vers le retour aux formes antiques, et l'on a pu voir dans l'exposition de M. Lerolle, la plus remarquable entre toutes, combien l'art moderne a su s'approprier ces formes, en les rajeunissant, pour les mieux approprier à nos besoins. On sait que, parmi les travaux exécutés sous la direction de M. Lerolle et de ses fils, on compte tous les bronzes du palais grec du prince Napoléon, et ceux du waggon, construit il y a quelques années, par notre collègue, M. Trélat, pour le Saint-Père.

La céramique avait revêtu, pour l'exposition, un caractère qu'elle n'avait eu dans aucune des expositions antérieures. Les grandes porcelaines artistiques de M. Gilles, les belles imitations des genres Chine et Japon de M. Lebourg, ont été remarquées sans doute avec beaucoup d'intérêt, mais les honneurs de la foule se sont surtout adressées aux produits de trois exposants qui ont su conserver, dans une même industrie, une véritable originalité.

Nous voulons parler des poteries décorées de M. Deck, de M. Jean et de M. Pull.

Les grandes pièces de M. Deck sont d'un bel effet décoratif, et, bien que les émaux de ce fabricant soient loin d'être irréprochables, bien qu'ils soient au contraire sillonnés, sur presque toute leur surface, d'une multitude de craquelures, les artistes qui faisaient partie du jury n'auraient pas hésité à placer ses produits au premier rang. Le véritable cachet de ces œuvres était, pour eux, tout entier dans l'harmonie de la couleur, dans la simplicité de l'invention, et les défauts de détail que nous venons de signaler disparaissaient devant la valeur artistique de l'ensemble.

M. Jean est bien davantage le maître de sa fabrication; ses couleurs sont plus fermes, sa palette est plus riche, ses contours sont plus arrêtés. Les céramistes surtout apprécient son travail, dont les émaux ne laissent rien à désirer. Sa tendance d'ailleurs est bien marquée vers le style italien, et bien des *faenza* de Florence ne sont pas mieux réussies.

M. Pull, de son côté, cherche surtout ses effets dans un bel émail; ses produits, dans le genre Palissy, sont d'une parfaite exécution et dénotent à la fois chez ce fabricant, qui fait tout chez lui, une grande habileté de main et des procédés dont il est sûr.

La réunion presque fortuite des produits de ces trois fabricants aurait suffi à elle seule pour donner à la première exposition des arts industriels un haut degré d'intérêt et comme une sorte de consécration providentielle. A aucune de nos grandes expositions nationales, l'industrie de la céramique ne s'était produite avec un tel éclat et sous une forme plus inaccoutumée. Nous ne saurions comparer ce fait qu'à celui qui s'est produit à l'Exposition universelle de Londres pour les produits de M. Minton, le célèbre fabricant du Straffordshire.

Le façonnage des pierres dures, tel que l'exécute M. Hermann, à l'aide du diamant noir, sur le tour, a pris depuis 1855 un développement remarquable. Les galbes bien composés et bien reproduits, l'intervention réservée du bronze comme monture, assure à ces beaux objets un grand succès à l'exposition de Londres, où ils paraîtront pour la première fois. Ces produits ne sont pas encore livrés au commerce.

L'ébénisterie parisienne est une des gloires de l'industrie de la capitale. Concentrée au faubourg Saint-Antoine, elle y trouve réunis, pour contribuer à l'exécution la plus parfaite comme la plus économique, toutes les ressources que peut offrir la combinaison la plus variée des moyens de fabrication et la division la plus multiple du travail. Au point de vue de l'art notamment, les dessinateurs, les sculpteurs, les habiles ouvriers en tout genre sont à la disposition du fabricant qui veut créer un nouveau meuble.

On serait peut-être en droit de reprocher à l'industrieux faubourg de ne pas toujours se rappeler que c'est en partant de l'étude approfondie des chefs-d'œuvre caractéristiques des di-

vers styles, que notre génération peut en produire à son tour, et tout au moins éviter des mélanges inacceptables d'éléments appartenant à diverses époques. Il y parviendrait aisément si, au lieu de trop épuiser ses forces en lui-même, il craignait moins de solliciter le concours des artistes les plus propres à indiquer la voie que doivent suivre les progrès de l'ameublement, je veux dire les architectes, les véritables ingénieurs capables de diriger les créations de ce genre. Ce n'est pas de la part des architectes que viendrait l'obstacle, sans doute, à une fusion plus intime de l'art et de l'industrie, car plusieurs d'entre eux ont souvent guidé, avec grand succès, des fabricants de premier ordre, et leur ont fait produire des chefs-d'œuvre, en les rappelant à une pureté, à une sévérité de lignes que l'habile ouvrier recherche naturellement bien moins qu'un tour de force, qu'un chef-d'œuvre d'exécution. Cette voie est celle si glorieusement suivie par les Ducerceau, les Philibert Delorme, et il nous suffira de rappeler les beaux autels construits en 1855 sous la direction de MM. Viollet-Leduc et Questel, pour montrer que ces anciens maîtres ont des successeurs dignes d'eux.

Nous citerons ici les œuvres les plus remarquées.

MM. Mazaroz et Ribaillier, qui ont eu le mérite de monter en fabrique, sur une échelle importante, et de manière à en diminuer sensiblement les prix, la confection des meubles sculptés, tout en s'élevant à un degré très-satisfaisant, au point de vue de l'art, avaient mis à l'Exposition plusieurs excellents produits, une vaste armoire notamment, dont les panneaux étaient ornés de plantes grimpantes d'un faible relief et d'une élégante exécution.

M. Sauvrezy produit des meubles de styles différents, et s'attache à leur donner le cachet spécial qu'ils doivent posséder. Il réussit très-bien, par exemple, les petits meubles dorés, tels que guéridons, toilettes du genre Louis XVI, les cabinets Henri II, dont certaines parties indiquent un talent remarquable de sculpteur sur bois.

M. Roux a exposé des meubles en marqueterie, genre Louis XVI, en bois de teintes claires, d'une belle exécution et d'une rare élégance. On admirait, et avec grande raison, l'excellence du goût qui avait présidé au choix des formes et à l'harmonie des couleurs. Nous doutons que l'habileté puisse être poussée plus loin

et qu'on puisse faire mieux que ce fabricant dans le genre auquel il a consacré ses efforts.

Parmi les industries se rapportant à la décoration des édifices, nous devons citer les remarquables produits de plomberie pour faîtages et *amortissements* exposés par M. Monduit. Cette belle application de la sculpture prend surtout, dans les heureux emplois qui en ont été faits, à la restauration de nos vieux monuments et de nos cathédrales, les proportions d'un art véritable.

L'industrie du papier peint est certainement une de celles qui emprunte le plus à l'art : sous l'impulsion de nos artistes industriels les plus habiles, cette industrie s'est complétement transformée depuis quelques années. Détournée de sa véritable voie par le désir immodéré d'un grand effet, elle s'était en quelques mains, cependant exercées, attachée à reproduire, pour la plupart sans succès, de véritables tableaux. On revient aujourd'hui à des idées plus saines : les fabricants modèrent leurs désirs à la mesure des moyens dont ils disposent, et nous verrons, à l'abri de cette modération nécessaire, se produire dans les papiers une révolution analogue à celle qui s'est déjà produite dans les bronzes, la substitution d'un style simple et bien caractérisé à des effets plus tranchants et plus tourmentés.

La nature des objets dont nous nous sommes occupé jusqu'ici nous imposait l'obligation de les considérer plutôt au point de vue de la forme que des procédés; il n'en sera plus de même pour les produits de la troisième section, exclusivement consacrée à tous les moyens de reproduction des objets d'art industriel.

Nous nous rappelons encore qu'à l'exposition de Londres la photographie, telle qu'elle se fait si bien aujourd'hui, n'avait pas encore pris sa place parmi les produits de quelque importance : quelques vues, prises par notre compatriote M. Dollfus, que nous avions eu l'occasion de mettre sous les yeux du prince bienveillant qui vient d'être enlevé aux sciences et aux arts de son pays, et qui présidait alors aux destinées de l'Exposition d'une manière si distinguée, devinrent le point de départ des reproductions qui furent faites, par les ordres de la commission royale, des produits jugés dignes des plus hautes récompenses.

En dix ans cette pratique est devenue générale dans toutes les industries d'art, et chaque fabricant conserve en album les pho-

tographies de toutes ses productions. Ces matériaux aideront puissamment au progrès, par la comparaison plus facile et presque forcée de chaque œuvre nouvelle avec les précédentes. Réunies et groupées avec méthode, ces photographies formeront à elles seules un musée d'art industriel d'un grand intérêt.

Malgré les développements tout à fait imprévus que la photographie a pris, surtout dans ces dernières années, et qui lui ont permis d'entrer jusque dans nos demeures par toutes les portes, elle est encore l'objet de recherches qui ont essentiellement pour but de la lier d'une manière plus étroite aux procédés plus anciens de la gravure et de la lithographie. On reproduit aujourd'hui par ces deux modes les épreuves photographiques, et peu d'années s'écouleront certainement avant que ces pratiques deviennent générales.

La lithographie ne date que du commencement du siècle. Accueillie d'abord froidement, elle fut bientôt considérée comme le moyen par excellence de reproduire, dans toute leur originalité, les œuvres mêmes des artistes. C'est en ce sens que l'on a pu dire que la lithographie a fait pour les arts du dessin ce que, quatre siècles auparavant, la typographie a fait pour la diffusion des idées. Dans ces quelques années qui nous séparent de Senefelder, combien de tentatives, d'améliorations, toutes dirigées dans le but de permettre à l'artiste lui-même de se produire sans intermédiaire!

On pourrait faire une histoire fort intéressante de ces divers procédés, tant dans cette voie que dans celle des gravures en relief par les acides du dessin de l'artiste; mais, à notre point de vue restreint, il nous suffira d'indiquer celui dont nous avons pour la première fois constaté les résultats à l'exposition de 1861. M. Comte recouvre une plaque de zinc polie d'une couche blanche. L'artiste, armé d'une pointe d'ivoire, enlève avec une entière liberté les portions de cette couche qui doivent former les traits du dessin. On soustrait les points dénudés à l'action de l'acide, qui, creusant le surplus de la planche, laisse en relief le dessin, dont le tirage typographique peut alors donner des épreuves excellentes.

L'influence de la galvanoplastie est souvent heureuse; sans doute, et entre des mains habiles elle a produit des chefs-d'œuvre; nous n'en voulons d'autres preuves que ces charmantes

compositions exécutées par M. Christofle pour l'ébénisterie; mais, appliqués sans discernement et presque à contre-sens, ces jolis modèles, qui ne sont plus faits pour un meuble spécial, avec lequel ils doivent s'harmoniser, sont rarement appliqués avec une réserve convenable, et ils déparent souvent certains meubles qu'ils étaient destinés à faire valoir. Les plus belles choses sont ainsi détournées de leur véritable destination et perdent toute la valeur qu'elles auraient acquise par un emploi plus judicieux.

Considérés en eux-mêmes, les procédés galvanoplastiques sont en voie de progrès.

Entre les mains de M. Rogeau, le moulage des matières molles, par une substance qui lui est particulière, reproduit dans tous leurs détails les parties les plus délicates des plus belles fleurs; ces moules se prêtent parfaitement aux procédés ordinaires de la galvanoplastie.

L'exposition de MM. Lionnet frères était remarquable; amplifiés ou réduits dans une proportion qui peut être considérable, leurs moules permettent aujourd'hui de reproduire le même modèle à plusieurs échelles différentes et sans aucune opération mécanique.

On connaît les jolies figurines de Vincent, que cet artiste obtenait par moulage sur nature, avec de la gélatine prenant par le refroidissement une certaine consistance. Bien antérieurement, Gonord avait, dans un brevet resté secret jusqu'à son expiration, décrit un procédé ayant pour but la reproduction, en gélatine, de planches gravées, susceptibles d'une réduction pour ainsi dire indéfinie; l'empreinte ainsi obtenue, étant plongée dans de l'alcool suffisamment pur, cédait à ce liquide une partie de l'eau qu'elle retenait, et se contractait, par suite de cette perte de substance. La répétition du même procédé permettait d'arriver, par plusieurs moulages successifs, à telle réduction que l'on voulait.

Dès avant 1840, Collas, qui a tant fait au point de vue des réductions mécaniques, a employé ce même procédé pour réduire dans leurs dimensions des compositions typographiques, et il était arrivé à ce point de perfection, qu'un cliché, petit in-folio du *Magasin pittoresque*, laissait encore lire sur les épreuves les caractères lorsque la réduction de la page était amenée à trois centimètres de hauteur.

M. Martin, l'un des exposants actuels, a créé sur des procédés

analogues une véritable industrie, et il paraît l'avoir dotée de moyens plus sûrs pour produire des augmentations, comme on produisait avant lui des réductions. Nous avons vu dans son exposition des moulages, en ronde bosse et en bas-relief, de ces deux modes, dans lesquels on pouvait rapprocher, sans y trouver des différences sensibles, l'exemplaire réduit de l'exemplaire amplifié.

Les frères Lionnet, pour leur industrie galvanoplastique, ont eu souvent recours à M. Martin; mais, en donnant à la matière gélatineuse, par certaines additions, une consistance toute spéciale et une suffisante insolubilité, ils sont parvenus à établir par eux-mêmes des moules susceptibles d'augmentation et de réduction, et qui entrent maintenant dans leur fabrication de tous les jours. Ces moules ont même cela de remarquable que, après s'être gonflés ou réduits sous l'influence des agents chimiques qu'ils renferment, ils peuvent directement se placer dans le bain, et recevoir ces magnifiques dépôts de cuivre qui formaient la presque totalité des produits exposés par les frères Lionnet.

Il ne faudrait cependant pas abuser de ces procédés; si la réduction peut amoindrir les défauts de l'original, l'augmentation les exagère, et l'on peut admettre pour certain qu'un nouveau travail de ciselure est nécessaire, si l'on veut conserver à la forme sa pureté primitive. Au point de vue de la dépense, il y a loin encore de cette pratique à celle incomparablement plus coûteuse qu'entraînent les réductions mécaniques, dont les résultats sont bien près d'ailleurs d'être d'une perfection absolue.

Nous terminerons en faisant remarquer que, dans ses appréciations, le jury a fait preuve d'une modération extrême : il a pensé que cette exposition, malgré son importance, était bien loin de représenter ce que l'art industriel est pour la France; nous pouvons être sans crainte pour l'avenir. A Londres, cette année même, un peu plus tard à Paris, si nos vœux se réalisent, il nous sera sans doute réservé de trouver dans de nouvelles expositions du même genre une expression plus complète et plus saisissante de l'influence prépondérante de l'art sur toutes les branches de notre industrie.

H. T.

Paris. — Imprimerie P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.

CHIMIE ORGANIQUE

EXPÉRIMENTALE ET APPLIQUÉE

PAR M. PAYEN

DEXTRINE ET GLUCOSE PRODUITES SOUS L'INFLUENCE DES ACIDES SULFURIQUE OU CHLORHYDRIQUE, DE LA DIASTASE OU DE LA DIASTASE ET DE LA LEVURE.

PREMIÈRE PARTIE.

Cellulose fibreuse extraite des bois. Glucose incristallisable, dite impondérable, préparée au moyen du malt ou de l'acide sulfurique.

En lisant dans le rapport présenté à l'Académie par M. Chevreul [1] l'exposé historique des travaux sur l'amidon, on voit qu'un grand nombre de savants, depuis 1716, se sont occupés de ce principe immédiat.

Sans parler ici des physiciens, des physiologistes et des chimistes de notre époque qui ont fait d'importantes découvertes sur ce point, on peut citer les noms des Leuwenhoeck, docteur Irvine, Vauquelin, Pelletier, Lassaigne, Couverchel, Robiquet, Thénard et Gay-Lussac, Vogel, Kirchskoff, Th. de Saussure, Mathieu de Dombasle, Dulong, Beudant, Braconnot, Dutrochet; et cependant cet intéressant objet de tant d'études était loin d'être épuisé; il ne l'est même pas encore aujourd'hui, malgré les nombreuses données certaines définitivement acquises à son égard. Ainsi, jusqu'à ces derniers temps, les savants et les ma-

1. En 1834, au nom d'une commission composée de MM. Dulong, Chevreul, Dumas et Robiquet. Voyez les *Nouvelles Annales du Muséum*, t. III, p. 239.

nufacturiers qui se sont occupés des transformations de la fécule en dextrine et en glucose n'avaient pas déterminé directement les proportions de ces deux produits obtenus sous des conditions précises de temps et de mode d'opérer [1].

Cependant M. Biot avait suivi, à l'aide de la méthode optique qu'il a fondée, les progrès de la dissolution et de la saccharification des fécules amylacées, et l'on admettait d'une manière générale que le premier degré de la réaction donnait le maximum de dextrine et le minimum de glucose, que celle-ci augmentait avec la durée de l'opération, sans qu'on se fût suffisamment attaché à reconnaître expérimentalement les conditions les plus favorables à ces transformations, ni leurs limites sous l'influence des divers agents qui peuvent les effectuer.

Lorsque, dans une communication faite l'année dernière à l'Académie, on indiqua les rapports de 2 à 1 entre les quantités de dextrine et de glucose formées simultanément aux dépens de l'amidon, par l'intervention de l'eau et de la diastase ou de l'acide sulfurique, on signalait dans cette note une production plus grande de glucose comme impossible, par la diastase, et tellement difficile au moyen de l'acide sulfurique, qu'on était disposé à voir dans la formation des deux produits plutôt une décomposition de la substance amylacée qu'une simple hydratation.

En tout cas, on se trouvait par là naturellement conduit à conseiller un changement notable dans le procédé usuel de fabrication de la glucose par l'acide sulfurique : l'emploi de vases hermétiquement clos, de façon à y élever la pression intérieure au degré correspondant à la température de 108°.

On considérait la réaction de la diastase sur la fécule comme impuissante à saccharifier au delà du tiers du poids de la matière amylacée, laissant les deux tiers à l'état de dextrine tellement réfractaire à toute saccharification ultérieure, par le même agent, que dans la fabrication de l'*eau-de-vie de grains*, où l'on produit le sucre fermentescible avec l'orge germée, il y avait, disait-on, une perte inévitable des deux tiers du produit alcoolique.

1. Quelques expériences de laboratoire ont été entreprises par M. Guérin, en employant la diastase pure. J'en ai rappelé les principaux résultats dans mon Mémoire inséré au t. VIII, des *Savants étrangers*.

En écoutant avec un vif intérêt ces curieuses observations, il me vint à la pensée que les conclusions théoriques, du moins, n'étaient peut-être pas assez justifiées : qu'ainsi l'état différent d'agrégation des particules amylacées, offrant dans chaque grain de fécule, et pour chacune des dix à quinze couches concentriquement emboîtées qui le composent, alternativement un minimum et un maximum de cohésion du centre à la périphérie; cet état d'agrégation variée — cause de divers phénomènes remarquables que j'ai précédemment fait connaître — suffirait pour expliquer la rapide transformation de la matière amylacée en deux produits : l'un résultant de la dissolution suivie d'une saccharification presque immédiate, l'autre s'arrêtant après la dissolution plus difficile des portions plus fortement agrégées.

Qu'enfin cette résistance pouvait être augmentée sans doute par la présence de la glucose produite qui changeait l'état du liquide; de telle sorte qu'il serait possible de vaincre ces obstacles, soit partiellement à l'aide de réactions prolongées, soit plus complétement en faisant disparaître la glucose par la fermentation [1].

Ces vues s'appuyaient en outre sur une étude attentive des phénomènes qui se passent dans la pratique en grand.

Tels furent, en effet, les résultats des recherches que j'ai entreprises, au Conservatoire impérial des Arts-et-Métiers, avec le concours habile et consciencieux de M. Billequin, et dont je vais essayer de rendre compte.

Saccharification de la fécule à l'aide de l'acide sulfurique.

En décrivant cette opération [2], j'avais anciennement indiqué les conditions à remplir pour produire le maximum de glucose, et j'ajoutais qu'en faisant réagir pendant une autre saccharifi-

1. En 1835, M. Guérin-Vary annonçait être parvenu à saccharifier par la diastase la dextrine presque tout entière, en réitérant plusieurs fois la réaction, après avoir séparé chaque fois par l'alcool la glucose formée; à la vérité, la séparation par ce moyen est lente, difficile et presque toujours incomplète; d'ailleurs le résultat définitif lui-même se trouvait contesté par l'auteur des observations nouvelles.

2. Voyez le Cours de chimie au Conservatoire, recueilli en 1842, par MM. Knab et Leblanc, p. 33, et les quatre éditions du *Précis de chimie industrielle*, publiées de 1850 à 1859.

cation le liquide acidulé sur les sirops parfois incristallisables qui retiennent de la dextrine, on parvient à compléter la transformation. C'était dire que dans de telles conditions on peut, en définitive, convertir la totalité de la substance amylacée en glucose par une simple ébullition à l'air libre dans cinq parties d'eau aiguisée d'environ un demi-centième d'acide sulfurique, ou en employant de 2 à 3 de cet acide pour 100 de fécule. Mais ces assertions se trouvant contredites par les résultats en question des expériences publiées en 1860, il me parut utile de contrôler tous ces faits par de nouveaux essais de saccharification dans des conditions bien précises et en employant aussi pour déterminer les quantités de glucose le réactif de Frommhertz, suivant la méthode de dosage due à M. Barreswill.

Toutes les saccharifications dont je vais rendre compte ont été faites en ajoutant par petites doses successives la fécule délayée dans l'eau sans interrompre l'ébullition.

Ces nombreux essais ont fourni la vérification nouvelle d'un fait important que j'avais constaté autrefois : pendant tout le temps que durent les additions, à de courts intervalles, de la fécule, le liquide (contenant 0.005 d'acide sulfurique ou 3 pour cent de la substance amylacée) reste sensiblement incolore, lors même que ces additions successives dans la solution bouillante se prolongent pendant quatre à six heures, tandis que si l'on continue, après la dernière dose ajoutée, de faire bouillir le liquide au delà de quarante à soixante minutes, une nuance jaunâtre se manifeste et devient graduellement plus foncée par la formation des produits bruns (acide ulmique et ulmine).

Je rangerai ces essais, en y comprenant la saccharification de la dextrine par l'acide sulfurique et celle de la substance amylacée par l'acide chlorhydrique, suivant l'ordre des proportions graduellement plus fortes de glucose obtenue aux différentes dates depuis le mois de juin dernier.

En vue d'apprécier l'influence d'une pression additionnelle à celle de l'atmosphère et de l'élévation correspondante de la température du liquide, on a fait les deux expériences comparatives suivantes :

100 gr. de fécule délayée furent successivement ajoutés, en trois heures, dans 500^{cc} d'eau contenant 3 g. d'acide sulfurique, le liquide ne se colorant plus par l'iode, on a soutenu l'ébulli-

tion trente minutes, et l'on en a séparé une partie qui a été saturée par la craie; l'autre portion, soumise à l'ébullition pendant une demi-heure, sous une pression représentée par une colonne de 15c de mercure et à la température correspondante, fut saturée à son tour par la craie, filtrée, évaporée, etc.;

100 de la substance sèche du premier produit saccharifié contenaient :

Glucose	51
Dextrine	49
	100

100 du produit de la deuxième saccharification :

Glucose	62.41
Dextrine	37.59
	100.00

Ainsi, la première saccharification à l'air libre avait donné un produit contenant 0.51 de glucose, la deuxième, 0.62.

Une autre saccharification à l'air libre, dans les mêmes conditions que la première, mais en faisant durer quatre heures les additions successives et prolongeant pendant deux heures ensuite l'ébullition, donna pour 100 de produit sec (déduction faite du sulfate de chaux) :

Glucose	64.12
Dextrine	35.88
	100.00

Ainsi donc la durée un peu plus longue des additions successives et de l'ébullition à l'air libre avaient exercé une influence plus grande que l'excès de pression.

Afin de mieux préciser les conditions dans lesquelles la saccharification pouvait s'opérer plus favorablement sans rien changer aux doses employées, mais en étendant la durée des additions, on fit chauffer à l'ébullition 500cc d'eau aiguisée de de 3 grammes d'acide sulfurique; d'un autre côté, on avait délayé 100 grammes de fécule dans 200cc d'eau; ce dernier mélange fut fractionné en doses de 12 grammes, représentant 4 grammes de fécule ajoutés de douze en douze minutes; en sorte que vingt-cinq additions semblables formant les 300 grammes du mélange total et contenant les 100 grammes de fécule furent introduites

en cinq heures dans le liquide bouillant. Il fallut une heure vingt-deux minutes ensuite pour faire cesser toute coloration par l'iode d'une goutte du liquide refroidi ; on prolongea d'une demi-heure encore l'ébullition, et alors 100 du produit saccharifié sec (déduction faite du sulfate de chaux resté dissous après la filtration) contenaient :

Glucose anhydre ($C^{12}H^{12}O^{12}$).......	80.51
Dextrine.....................	19.49
	100.00

Dans cet état, le produit, amené à la consistance sirupeuse, donnait une cristallisation abondante par groupes de lamelles rhomboïdales irradiées de centres communs vues sous le microscope, et présentant à l'œil nu des granulations distinctes, faciles à égoutter en raison du liquide, en faible proportion, que plus longtemps la présence de la dextrine maintenait incristallisable et sous forme d'eau mère.

Une autre opération, dans laquelle, employant toujours les mêmes doses de fécule, d'eau et d'acide, les additions successives furent plus fractionnées encore, la réaction totale dura cinq heures, en y comprenant trente minutes d'ébullition après cessation de colorabilité par l'iode; le résidu sec du liquide filtré et concentré pesant 72 gr. 32 contenait 69 gr. 5 de glucose. Ainsi 100 de produit saccharifié dans cette expérience contenaient:

Glucose......................	82.27
Dextrine.....................	17.73
	100.00

En déduisant le sulfate de chaux, qui se trouvait par le calcul ajouté à la dextrine, on trouva :

Glucose......................	83.6
Dextrine.....................	16.4
	100.0

Toutes ces opérations rendaient évidente la propriété inhérente à la dextrine d'être saccharifiée, dans les circonstances précitées, par une ébullition à l'air libre dans l'eau aiguisée de 0.006 d'acide sulfurique.

Cependant une constatation directe ne pouvait paraître inutile; on essaya donc la saccharification de la dextrine blanche commerciale dite *gommeline* [1].

20 grammes délayés et dissous dans l'eau furent successivement, et par petites doses, versés dans 200cc d'eau aiguisée avec 1 gr. 5 d'acide sulfurique, au degré de l'ébullition; l'opération dura quatre heures et demie; le mélange saturé par le carbonate de chaux, filtré, évaporé, donna un produit sec représentant en centièmes :

Glucose	84.06
Dextrine	15.94
	100.00

La dextrine employée contenait, il est vrai, 5.23 de glucose toute formée, qui, déduite des 84,06, laissait encore 78.73 de glucose, pour produit de la saccharification par l'acide sulfurique, dans l'expérience.

Saccharification par l'acide chlorhydrique.

Cette opération se fait en grand dans deux circonstances particulières : soit lorsque l'équivalent d'acide sulfurique est à un prix plus élevé que l'équivalent d'acide chlorhydrique et que le produit saccharifié s'emploie dans la fabrication de l'alcool; soit lorsque les substances féculentes saccharifiées ainsi, le riz, par exemple, doivent êtres soumises à la fermentation avec le produit soluble (chlorure de calcium) de la saturation par la craie, tandis que le sulfate de chaux, en raison de sa très-faible solubilité et de son volume, formerait une masse pâteuse et s'opposerait à la fermentation comme à la distillation.

Il était donc intéressant d'étudier aussi les propriétés saccharifiantes de l'acide chlorhydrique en employant cet acide en proportion de son équivalent.

100 gr. de fécule délayée dans l'eau et versée peu à peu en trois heures dans 550cc d'eau contenant 5 gr. d'acide chlorhydri-

1. On obtient la gommeline (dextrine blanche ou amidon soluble) en imbibant la fécule avec 33 centièmes de son poids d'eau, contenant 0,006 d'acide chlorhydrique (fécule 1000, eau 330, acide chlorhydrique 2), faisant sécher et portant à l'étuve la température de 120 à 130°.

que à 22° Baumé, donnèrent une solution qui n'était plus colorable en bleu ni en violet par l'iode, on fit bouillir pendant une demi-heure, et l'on soutira une partie du liquide; l'autre partie fut soumise à l'ébullition prolongée pendant trente minutes encore; après saturation par la craie, filtration, évaporation et déduction faite du chlorure de calcium resté dans le liquide, la première portion soutirée renfermait pour 100 gr. de produit sec saccharifié ainsi :

Glucose	62.5
Dextrine	37.5
	100.0

la seconde partie contenait :

Glucose	63.11
Dextrine	36.89
	100.00

Il était évident que pendant la saccharification, une portion de l'acide chlorhydrique s'étant volatilisée, dès lors celle-ci avait cessé de contribuer à l'effet attendu. Afin d'éviter cette cause de perte, on divisa en deux parts cet acide en augmentant de 0.2 la dose; 3 grammes furent ajoutés aux 500cc d'eau, et le mélange porté à l'ébullition; 3 grammes furent étendus dans 200cc d'eau et servirent à délayer les 100 grammes de fécule. Ce mélange étant ajouté par doses régulières de 12 grammes et de 12 en 12 minutes, la totalité se trouva versée dans l'eau acidulée bouillante en 5 heures, il fallut 32 minutes de plus pour que le liquide cessât d'être colorable par l'iode, et l'on prolongea encore l'ébullition pendant 30 minutes; alors le produit saccharifié sec, déduction faite du chlorure de calcium, contenait en centièmes :

Glucose	85.55
Dextrine	14.45
	100.00

On voit que dans des circonstances semblables, comparativement avec l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique peut avec une énergie un peu plus grande transformer la substance amylacée en glucose; que durant cette transformation, effectuée par additions successives dans le liquide acide et bouillant, la dextrine primiti-

vement formée éprouve graduellement aussi l'hydratation spéciale qui doit la saccharifier et la rendre fermentescible.

Qu'à l'aide de précautions convenables on peut, en opérant sans pression additionnelle, approcher autant qu'on le veut de la transformation complète en glucose. Tel fut en effet le résultat de cette méthode que j'ai instituée et appliquée en grand dès l'année 1829, produisant dès lors aussi, sous l'influence de l'acide sulfurique, des sirops de fécule cristallisables en masse sans apparence de liquide incristallisable interposé[1].

Un échantillon de la glucose commerciale solide, dite *sirop* ou *sucre de fécule massé,* telle qu'on la fabrique actuellement dans de semblables conditions, mais à l'aide du chauffage direct par la vapeur[2], nous a donné, après dessiccation complète pour 100 :

Glucose	98.40
Dextrine	1.60
	100.00

déduction faite du sulfate de chaux.

Un autre échantillon d'un sirop commercial destiné aux brasseurs, également préparé dans une cuve chauffée par le barbottage de la vapeur, contenait à l'état normal 0.247 d'eau ; analysé après dessiccation complète, il contenait 0.951 de glucose.

Dans la deuxième partie de ce mémoire, je montrerai comment on peut arriver, indirectement du moins, à la transformation sensiblement complète de la substance amylacée par la réaction de la diastase, à obtenir dans la fabrication de la bière un maximum de développement alcoolique, à réaliser plus facilement encore cette production dans la fabrication de l'alcool de grains et le traitement des fécules amylacées.

1. Voyez le t. XVI, p. 410, du grand *Dictionnaire technologique,* en 22 volumes.

2. Voyez l'appareil spécial, *Précis de Chimie industrielle,* volume II, p. 97, et pl. 26 de la 4e édition, la pression se trouve accrue dans cet appareil seulement de 1m.5 à 3 mètres du liquide que la vapeur traverse.

DEUXIÈME PARTIE.

Comprenant la réaction de l'acide chlorhydrique sur le tissu ligneux et les réactions, isolées ou réunies, de la diastase et de la levûre de bière sur la dextrine.

Dans la première partie de ce mémoire, j'ai montré que sous des conditions très-faciles à réaliser, soit expérimentalement dans le laboratoire, soit en cours d'opérations manufacturières, on peut, à l'aide de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, et sans élever la température au delà du degré correspondant à l'ébullition du liquide à l'air libre, transformer plus ou moins complètement la substance amylacée en glucose. Cette transformation graduée avait été, dès l'année 1833, l'objet d'un mémoire lu à l'Académie des sciences par M. Biot : *Sur une propriété moléculaire optique*, appliquée à caractériser les produits de la dissolution et de la conversion en sucre de l'amidon sous l'influence de cet acide[1].

J'ai indiqué les résultats analogues obtenus par l'acide chlorhydrique dilué.

Aux applications spéciales que j'ai signalées, j'ajouterai ici la mise en pratique d'un procédé expérimenté l'année dernière par M. Bachet au Conservatoire des Arts-et-Métiers.

Ce procédé consiste à traiter par l'eau aiguisée d'un dixième d'acide chlorhydrique usuel les bois de sapin, de hêtre, ou des peupliers (*populus alba, populus tremula*) préalablement divisés en tranches minces ou en copeaux. L'ébullition, soit à feu nu, soit au moyen d'un courant de vapeur, et en tout cas à l'air libre, prolongée durant 10 à 12 heures, fait dissoudre et transforme en glucose la portion faiblement agrégée de la cellulose et une partie presque congénère comprise dans les matières incrustantes des fibres ligneuses; 100 parties du bois employé nous ont donné dans plusieurs essais de ce genre 21.63 à 22.95 de glucose; M. Bachet en a obtenu depuis jusqu'à 30; le calcul s'appliquant à la substance ligneuse desséchée et à la glucose pure. Dans des circonstances semblables la paille hachée a fourni, après 3 heures d'ébullition, 0.216 de glucose, représentant 25.41 à l'état sec en

1. *Annales de Chimie*, t. LII, p. 72.

supposant 0.15 d'eau dans la paille normale employée. Les portions dissoutes et transformées ainsi peuvent, après la saturation de l'acide par la craie, éprouver la fermentation alcoolique et fournir par la distillation de l'alcool facile à rectifier.

On peut se rappeler que M. Pelouze avait indiqué une méthode de saccharification de la cellulose par l'acide chlorhydrique étendu; seulement, d'après le procédé de M. Bachet, la portion la plus résistante de la cellulose se trouve ménagée tellement qu'on lui retrouve sous le microscope la structure primitive des fibres ligneuses non encore incrustées; elle présente la composition élémentaire et les propriétés distinctives de la cellulose pure; l'acide sulfurique à deux équivalents d'eau la désagrége, la dissout et la transforme en dextrine, puis en glucose; il est très-facile de constater pendant cette transformation l'état intermédiaire entre la cellulose et la dextrine qui correspond aux groupes des particules amylacées susceptibles d'être teintes en bleu ou violet au contact de l'iode en solution aqueuse.

Le résidu de cellulose fibreuse, blanchi à l'aide du chlore et de la soude, paraît susceptible, en effet, d'entrer dans la préparation de la pâte à papier, en y ajoutant d'ailleurs une proportion suffisante des fibres textiles usuelles de lin, chanvre ou coton pour donner au produit feutré une ténacité convenable.

M. Bachet est parvenu à préparer en grand, avec le bois de sapin, une substance assez fibreuse et blanche pour être feutrée seule en feuilles de papier et collées à la cuve par le savon résineux usuel.

M. Péligot, a remarqué parmi les nombreux produits de l'exposition de Metz, des pâtes à papier de cette nature fabriquées dans la grande usine de Dieuze. Si cette industrie se maintient et se propage, elle contribuera pour sa part à rendre plus économiques les moyens de condensation des vapeurs insalubres dégagées dans les soudières pendant la décomposition du sel marin, et pourra contribuer aux approvisionnements de matière première qui ne suffisent plus maintenant à la fabrication ordinaire dans les papeteries de France et d'Angleterre.

En reprenant ici l'étude des transformations de la fécule sous l'influence de la diastase, je dois rappeler encore qu'à l'époque où M. Biot venait de lire à l'Académie son mémoire déjà cité, cet illustre savant voulut bien examiner avec moi la réaction spéciale

du principe actif de l'orge germée; que dès lors il reconnut, en y appliquant sa méthode fondée sur l'observation optique des propriétés moléculaires, que les produits de la réaction instantanée n'étaient certainement pas du sucre, pour la plus grande partie du moins[1].

Depuis cette époque, M. Dubrunfaut a étudié par la même méthode optique les progrès de la liquéfaction et de la saccharification de la substance amylacée sous l'influence de la diastase à différentes températures, sans toutefois appliquer à chacune des phases de ces réactions les déterminations pondérables de dextrine et de glucose formées; s'appuyant enfin sur ces observations expérimentales, le savant manufacturier fut conduit à proposer la préparation à basse température et la concentration dans le vide des moûts d'orge en vue de conserver intact le principe actif pendant la fermentation, d'obtenir une saccharification aussi complète que possible, des bières plus vineuses et mieux dépouillées de matières azotées, mais sans déterminer expérimentalement les résultats de ce mode d'opérer.

Les déterminations pondérales que j'allais entreprendre devaient combler ces lacunes en fixant les idées relativement aux faits plus récemment annoncés et qui se trouvaient sur divers points en contradiction avec les expériences des précédents expérimentateurs comme avec les miennes.

Je représenterai ici, comme dans la première partie de ce mémoire, les résultats de cette série d'expériences suivant l'ordre des proportions graduellement plus fortes de glucose obtenue dans des conditions qui se sont montrées successivement ainsi plus favorables.

Dans la première expérience, le but principal était de constater si la transformation pouvait, comme on l'avait généralement admis, s'effectuer graduellement, et de déterminer dans ce cas les quantités de glucose successivement produites aux dépens de l'amidon, puis de la dextrine.

100 grammes de fécule et 15 grammes de malt (orge germée en poudre) furent délayés à froid dans 1000^{cc} d'eau; on chauffa au

1. Voyez t. VIII des *Mémoires* présentés par divers savants à l'Académie des sciences de l'Institut, p. 214.

bain-marie et peu à peu jusqu'à la température de + 70°, que l'on soutint ensuite pendant toute la durée de l'opération; les produits furent fractionnés ainsi : au bout de 20 minutes la liquéfaction paraissait complète, et une goutte du liquide donnant avec la solution d'iode une coloration violette, un échantillon fut décanté au siphon; sur 9gr.05 de matière sèche que donna l'évaporation à siccité, il contenait 1gr.62 de glucose et renfermait en centièmes :

Glucose	17.90
Dextrine	82.10
	100.00

8 minutes plus tard, un deuxième échantillon du liquide prélevé, dont une goutte donnait avec l'iode une teinte vineuse, contenait 8gr.914 de substance sèche renfermant 1gr.87 de glucose, et correspondant à la composition suivante :

Glucose	20.97
Dextrine	79.03
	100.00

50 minutes après, l'épreuve par l'iode ne donnant plus de coloration vineuse ni rougeâtre, un troisième échantillon du liquide fut extrait du mélange; il donna par l'évaporation un résidu sec pesant 11gr.43, contenant 2gr.953 de glucose, sa composition représentait :

Glucose	25.83
Dextrine	74.17
	100.00

Les mêmes expériences, renouvelées sur le liquide maintenu encore pendant 1 heure 1/2 à la température de 70°, donnèrent pour 11gr.60 de résidu sec, 3gr.02 de glucose; sa composition était pour 100 de produit sec saccharifié :

Glucose	26.03
Dextrine	73.97
	100.00

Relativement à chacune de ces quatre phases de la saccharification, on eut le soin de porter rapidement à la température de

l'ébullition la portion du liquide prélevé, afin de paralyser toute action ultérieure de la diastase pendant l'évaporation.

On voit en définitive que dans ces conditions la transformation de l'amidon et de la dextrine en glucose a suivi une progression continue dont les termes constatés présentent en centièmes les nombres successifs :

17.90; 20.97; 25.83 et 26.03.

Ces résultats démontraient qu'une partie au moins de la dextrine primitivement formée pouvait être ensuite convertie en glucose sous les influences mêmes qui avaient fait liquéfier la fécule, et l'on était porté à croire que la glucose en certaines proportions mettait obstacle par sa présence à une transformation ultérieure de la dextrine; mais ce n'était là qu'une simple hypothèse qu'il fallait soumettre au contrôle de l'expérience.

On réalisa cette vérification en agissant sur deux variétés de dextrine.

La première, désignée sous le nom de *gommeline*, obtenue pulvérulente par la réaction à + 120° d'une minime dose d'acide chlorhydrique, contenait à l'état normal 5.23 de glucose pour 100. 20 grammes de ce produit dissous dans l'eau furent exactement saturés par le carbonate d'ammoniaque, afin d'éviter que la réaction acide s'opposât à l'effet de la diastase. On prépara celle-ci en délayant le malt dans l'eau à + 30°, laissant macérer 1 heure, filtrant, coagulant l'albumine par l'élévation de la température à + 75° et soumettant le liquide à une nouvelle filtration.

Les deux solutions de dextrine et de diastase mélangées et maintenues dans un bain-marie à la température de + 70° pendant 4 heures 1/2, donnèrent 250^{cc} de liquide contenant $5^{gr}.065$ de glucose correspondant pour la saccharification de 100 p. à $25^{gr}.235$.
Si l'on en déduit la quantité initiale égale à 5 .23
on voit que le produit en centièmes de cette saccharification représente 20 .095
pour 100.

Ainsi donc, dans cette première expérience, la réaction de la diastase sur la dextrine était évidente.

La deuxième expérience conduisit à la même conclusion, et

elle était plus démonstrative encore, car elle eut lieu en opérant sur la dextrine produite sous l'influence de la diastase elle-même, qui avait également formé de la glucose, mais la deuxième saccharification fut effectuée après avoir éliminé cette dernière substance du produit total par la fermentation alcoolique à l'aide de la levûre. Le liquide fermenté, soumis à l'évaporation à siccité, donna la dextrine, qui fut dissoute dans l'eau, puis soumise à la réaction dela diastase pendant 4 heures en maintenant à + 75° la température du mélange.

Dans ces conditions, 4gr.3 de la dextrine mise en expérience donnèrent 1gr.154 de glucose correspondant à 26.8 de glucose pour 100 de dextrine employée. La démonstration était alors complète, elle ne pouvait laisser de doute relativement à l'action saccharifiante que la diastase exerce sur la dextrine; en outre, elle justifiait l'hypothèse d'un obstacle opposé par la glucose produite, à la saccharification ultérieure, car, cet obstacle étant levé, la diastase avait repris son énergie primitive.

Et cependant tout ce que nous avions établi jusque-là ne suffisait pas encore pour réfuter l'argument principal présenté l'année dernière contre les premiers résultats obtenus. En effet, on pouvait croire que la perte annoncée comme inévitable des 2/3 de la substance amylacée pour la production de l'alcool était réelle si l'alcool formé pendant la fermentation présentait à son tour un obstacle de même nature que celui apporté par la glucose et dont je venais de démontrer l'existence.

Il me sembla que la solution du problème ne serait définitive qu'après avoir essayé l'action de la levûre sur le produit de la saccharification de la fécule par la diastase, soit sans la présence ou le concours de ce dernier principe actif, soit avec le secours de sa réaction.

Trois expériences distinctes furent instituées d'après ces vues :

La première eut lieu en saccharifiant d'abord 100 de malt délayés avec 1.200 d'eau à + 60° centésimaux, puis élevant et maintenant la température à + 75° au bain-marie pendant 2 heures et demie; depuis plus d'une heure le liquide ne donnait aucune coloration par l'iode, on y détermina sur 100cc de solution filtrée les proportions de substance sèche, de dextrine et de glucose;

on obtint 5.931 de résidu sec contenant 3.662 de dextrine et 2.269 de glucose, ou en centièmes :

Glucose	38.25
Dextrine	61.75
	100.00

Dans 600^{cc} de la solution saccharifiée à ce point, filtrée, chauffée à l'ébullition pour paralyser la diastase, on ajouta de la levûre très-active et l'on entretint la température à 28°; après que la fermentation eut cessé, le liquide filtré formant 567^{cc} contenait 0.0149 d'alcool en volume, ou pour la totalité 8^{cc}.4483 pesant 6^{gr}.77573; or les 13^{gr}.614 de glucose contenus dans 600^{cc} de liquide auraient donné au maximum 6.95 théoriquement au lieu des 6,77573 obtenus; donc, en présence de la levûre seule et pendant la fermentation, la dextrine n'a pas dû éprouver une transformation en alcool.

Dans un second essai où la saccharification a été poussée un peu plus loin, on a tenté de favoriser l'action de la levûre sur la dextrine par l'addition au liquide de 0.001 d'acide tartrique: les résultats furent également négatifs.

Détails de l'opération: 100 gr. de malt délayé dans 1 litre d'eau, le mélange maintenu 4 heures à + 70°:

Le liquide chauffé à 100°, filtré, refroidi, donna pour 100^{cc}:

Glucose	2.702	ou en centièmes :	Glucose	44.84
Dextrine	3.323	—	Dextrine	55.16
	6.025			100.00

Après fermentation et filtration, le liquide contenait 1.31 d'alcool en volume pour 100, la totalité représentait donc en volume 6^{cc}.55 et en poids 5.253 d'alcool; or les 13^{gr}.51 de glucose représentent théoriquement 6^{gr}.9 d'alcool; l'addition de l'acide tartrique n'a donc pas déterminé la saccharification de la dextrine pendant la fermentation.

La troisième expérience avait pour objet la fermentation du liquide contenant la substance amylacée saccharifiée par la diastase, en conservant à celle-ci son énergie pendant la fermentation alcoolique.

Détails de l'opération : 100 gr. de fécule transformée en empois dans 1 litre d'eau; on laissa refroidir à +25°, après 2 heures de contact avec le malt on filtra ; l'empois non dissous représentait 2.175 de matière sèche pour 100^{cc} de liquide.

100^{cc} du liquide filtré donnèrent à l'évaporation 6.72 de résidu sec contenant 2.76 de glucose, d'où 100 de ce produit saccharifié :

Glucose.	41
Dextrine.	59
	100

Le surplus du liquide non filtré fut mis en levain dans un flacon à double tube de sûreté et maintenu du 9 au 20 septembre constamment à +25°. Une portion de l'empois s'était fluidifiée; 100^{cc} filtrés laissèrent en empois indissous seulement l'équivalent de 1.93 de matière sèche (ou 19.3 p. 1,000 au lieu de 21.75).

100^{cc} de solution filtrée contiennent 0^{gr}.11 de glucose et donnent 1.10 résidu sec; ce liquide contient 3.2 d'alcool pour 100 représentant au maximum 2^{gr}.5664. Or les 2^{gr}.76 de glucose originaire représentaient seulement 1^{gr}.41 d'alcool au plus, donc on trouve un excédant de 1.156 d'alcool représentant au moins 2.261 de glucose produite sans doute par la réaction de la diastase sur la dextrine pendant la fermentation. Cette saccharification, prolongée pendant la fermentation alcoolique, avait donc sensiblement doublé la quantité primitive de glucose aux dépens de la dextrine[1].

Ces résultats s'accordent avec les observations recueillies dans les distilleries de grains, qui, loin de perdre inévitablement pour la production alcoolique les deux tiers de la substance amylacée, utilisent souvent au delà des deux tiers de la totalité, et dans les opérations les mieux faites approchent, à quelques centièmes près, du maximum de la production théorique, surtout lorsque dans le calcul, comme on doit toujours le faire, on tient compte des produits accessoires dont M. Pasteur a démontré la formation constante dans la série des phénomènes qui accompagnent la fermentation alcoolique des matières sucrées.

1. Après la fermentation, le liquide ne contenant plus que 1.93 pour 100 de résidu insoluble, on voit que 0.24 d'empois sec ont été transformés en produits solubles pendant la fermentation alcoolique.

Dans la troisième partie de ce mémoire, j'indiquerai les conditions du développement direct maximum de la glucose sous l'influence de la diastase, et la détermination pondérale des produits obtenus dans ces circonstances; je présenterai dans la quatrième partie la rectification des faits annoncés relativement à la fluidification de l'empois *sans production de glucose*, aux températures extrêmes de + 85° et de — 15°; j'examinerai la nature des produits appelés sirops impondérables; enfin je terminerai en exposant, sous forme de conclusions, le résumé succinct des faits observés durant le cours de ces recherches et réunis dans ce mémoire.

TROISIÈME PARTIE.

Dans la seconde partie de ce mémoire, j'ai signalé à l'attention publique les expériences de laboratoire et les opérations manufacturières faites en vue d'obtenir avec les tissus ligneux à la fois de la cellulose fibreuse et de la glucose fermentescible; j'ai fait voir sous quelles conditions expérimentales et en cours des opérations dans les fermes on peut transformer l'amidon, puis la dextrine, en glucose et en alcool.

Je me propose d'indiquer maintenant en quelles circonstances on parvient à obtenir directement, par la transformation de la substance amylacée, des proportions plus fortes de glucose et plus restreintes de dextrine, en s'éloignant graduellement ainsi de l'espèce de dédoublement qu'on supposait réalisable à proportions fixes, avec *hydratation* d'une partie seulement, limitée à 33 centièmes.

Pour toute cette troisième série d'expériences, la substance amylacée fut préalablement hydratée à chaud, afin de réunir les plus favorables conditions de sa transformation en dextrine et en glucose.

Première expérience. Dans un empois bien homogène, formé de 20 gr. grammes de fécule et 200 d'eau, le mélange étant à la température de + 75° centésimaux, on a délayé rapidement 20 gr. de malt

en poudre; la même température fut maintenue pendant deux heures. Alors, une goutte du liquide ne donnant plus de coloration au contact de l'iode, on a filtré une partie que l'on a évaporée jusqu'à siccité, le résidu sec contenait en centièmes :

Dextrine	58.94
Glucose	41.06
	100.00

On laissa la réaction diastasique se prolonger durant vingt-deux heures, à la température de + 50° : le produit ainsi saccharifié, soumis à l'évaporation et à l'essai par la liqueur normale cuivrique, a donné pour 100 :

Dextrine	57.37
Glucose	42.63
	100.00

On voit que la proportion de dextrine transformée durant cet espace de temps ne représente que 1.57 de glucose, la présence de celle-ci était donc un obstacle réel, mais non absolu, à la réaction de la diastase, cependant, dès la première phase de l'expérience, la transformation dépassait les limites qu'on avait à tort assignées à cette réaction.

Deuxième expérience. 10 grammes de fécule délayée dans l'eau froide furent régulièrement hydratés en complétant avec de l'eau bouillante un volume de 500 centimètres cubes; la température, après le mélange de 10 gr. de malt dans 500cc d'eau à 60°, étant de + 70°, on soutint à ce terme pendant cinq heures; alors le liquide filtré, ramené au volume d'un litre, contenait 6gr.61 de glucose pour 15.31 de résidu desséché; donc ce produit saccharifié contenait pour 100, à l'état sec :

Dextrine	56.83
Glucose	43.17
	100.00

Ainsi donc, en un temps moins long, la saccharification directe, dans ces conditions, était plus avancée que la première fois.

La *troisième expérience* fut faite dans les mêmes circonstances,

si ce n'est que le malt en poudre a été délayé dans l'empois à 75° ; la liquéfaction et la saccharification se sont trouvées à leur terme au bout de vingt minutes; du moins le mélange, maintenu pendant quatre heures à la même température de + 75°, ne contenait pas plus de glucose que dans la première partie de l'expérience. 100cc du liquide alors filtré donnèrent 1gr.960 de résidu sec, contenant 0.846 de glucose et 1.114 de dextrine, ce qui représente en centièmes :

Dextrine	56.84
Glucose	43.16
	100.00

Il est probable que dans l'orge germée, réduite en poudre, l'amidon que renferment les cellules non déchirées se sera graduellement dissous et saccharifié.

Quoi qu'il en soit, la saccharification directe dépassait encore de 10 pour 100, de la fécule employée, les limites assignées à cette saccharification directe.

Dans une *quatrième expérience*, on obtint une saccharification un peu plus avancée en employant pour 20 grammes de fécule mise à l'état d'empois avec 200cc d'eau, 20 gr. de malt délayé dans 100cc d'eau ; le mélange fut maintenu à la température de 75°; le liquide filtré, chauffé à l'ébullition, donna pour 100cc, contenant 11,715 de substance sèche, 5.08 de glucose, représentant en centièmes :

Dextrine	56.64
Glucose	43.36
	100.00

Nous sommes parvenus à obtenir directement une saccharification plus avancée encore en effectuant la transformation sous l'influence de températures moins élevées.

Voici les conditions et les résultats de la *quatrième expérience :*

50 grammes de fécule étant délayés dans 400cc d'eau à + 30°, on y versa, en agitant vivement, 600cc d'eau chauffée à 100°, afin d'obtenir la température moyenne d'environ 72°, à laquelle le gonflement de la substance amylacée devait facilement avoir lieu;

puis, laissant la température de cet empois homogène s'abaisser à + 25°, on y délaya rapidement 7gr.5 de malt en poudre; la température fut ensuite régulièrement maintenue à + 25°, en agitant de temps à autre le mélange.

Au bout de quatre heures, une portion du liquide prélevé donna par les essais, suivant la méthode précitée :

Dextrine	55.12
Glucose	44.88
	100.00

Et deux heures plus tard, la température ayant été maintenue au même point, le résultat des essais sur le résidu sec de l'évaporation du liquide filtré donna en centièmes :

Dextrine	52.14
Glucose	47.86
	100.00

La température de 25 degrés avait donc été plus favorable à la saccharification que les températures de 70 et 75°, maintenues durant les réactions précédentes.

On obtint un résultat plus favorable encore dans la *cinquième expérience*, en portant la température, pendant la durée totale de la réaction, à + 40°.

Voici les détails principaux de cette expérience : 50 grammes de fécule étant hydratés à chaud par 1000cc d'eau, on laisse abaisser la température à + 50°, et l'on délaye rapidement dans l'empois 7gr.5 de malt pulvérisé : la fluidification s'effectue rapidement. Au bout d'un quart d'heure, la liquéfaction étant complète, mais donnant encore par l'iode une teinte vineuse, on prélève une partie du liquide, qui, évaporé, laisse pour 100 de solution filtrée 3.585 de résidu sec, contenant 1.323 de glucose, et représentant en centièmes :

Dextrine	63.1
Glucose	36.9
	100.0

La température du mélange en voie de saccharification fut maintenue à + 40° pendant deux heures et demie; au bout de

ce temps la solution, qui n'éprouvait plus aucune coloration de la part de l'iode, donnait pour 100 un résidu desséché pesant 3gr.30, contenant 1gr.672 de dextrine et 1gr.628 de glucose. Ce qui représente en centièmes :

Dextrine	50.67
Glucose	49.33
	100.00

On voit que dans ces conditions nous avions fait faire encore à la saccharification directe un progrès notable; nous n'étions cependant pas arrivés au maximum de glucose que la réaction diastasique peut produire directement.

Deux autres expériences faites, la sixième à la température constante de + 50°, la septième en maintenant la température à + 40°, en fractionnant chacune d'elles en deux phases distinctes, prouvèrent l'une et l'autre, d'une part, que la saccharification continue toujours quelque temps après la liquéfaction complète, et en second lieu que le maximum de la quantité de glucose produite directement pendant cette double transformation, sous l'influence de la diastase, peut atteindre et dépasser même les 50 centièmes du produit total.

Voici les détails de ces deux saccharifications expérimentales.

Sixième expérience. On délaye 50 grammes de fécule dans 400cc d'eau à la température de + 30°; on ajoute, en agitant ce mélange, 600cc d'eau à 100°, et on obtient un empois bien homogène dont on laisse la température s'abaisser à + 50°; 7gr.5 de malt en poudre y sont alors rapidement mélangés, et l'on maintient la température à + 50°. Au bout de quatre heures, un échantillon prélevé donne pour 100 de la solution filtrée 2.4 de glucose, représentant en centièmes de la substance sèche :

Dextrine	53.4
Glucose	46.6
	100.0

Deux heures après, c'est-à-dire au bout de six heures, pendant lesquelles la température a été maintenue au même degré de 50, le liquide filtré, porté à l'ébullition, a donné 2.54 de glucose et contenait pour 100 de résidu sec :

Dextrine	50.099
Glucose	49.901
	100.000

Septième expérience. 50 grammes de fécule sont délayés dans 400cc d'eau à + 30°; on y ajoute en agitant 600cc d'eau bouillante : l'empois léger ainsi obtenu étant spontanément refroidi à + 40°, on y mélange 7gr.5 de malt pulvérisé. La température est maintenue à 40° pendant tout le temps de l'opération.

Au bout de deux heures et demie, le liquide ne donnant presque aucune coloration par l'iode, on en soumet une partie à l'épreuve de la quantité de glucose et de substance sèche. Deux heures après, on en fait autant avec le surplus du liquide, et l'on obtient successivement les deux résultats ci-dessous indiqués :

Le produit sec de la saccharification contient en centièmes

1° Au bout de deux heures et demie	Dextrine	52.876
	Glucose	47.124
		100.000
2° Après quatre heures et demie de réaction.	Dextrine	48.05
	Glucose	51.95
		100.00

On voit qu'ici le maximum de glucose obtenu directement dépasse de beaucoup le terme où l'on avait supposé récemment qu'il devait s'arrêter.

Mais, d'un autre côté, deux expérimentateurs avaient antérieurement annoncé que l'on pouvait pousser beaucoup plus loin la transformation et arriver à obtenir dans le produit saccharifié jusqu'à 0.8791 de glucose, en faisant réagir la diastase sur l'empois à 1/40e ou 0.025 de fécule.

Nous avons essayé d'atteindre ce but en opérant dans des conditions semblables à celles qui étaient prescrites.

10 grammes de fécule furent convertis en empois avec 400cc d'eau; le mélange étant refroidi à la température de 40°, on y délaya rapidement 2 grammes de malt en poudre, puis on entretint au bain-marie la température à + 40° pendant 4 heures. Alors on reconnut dans l'équivalent du produit sec que représentait la solution sucrée :

Dextrine	47.29
Glucose	52.71
	100.00

La proportion de glucose s'était peu élevée au delà de ce que nous avions précédemment obtenu. Elle doit approcher de bien près le maximum réel que peut produire directement la diastase, et demeure bien loin d'atteindre la production, sans doute irréalisable, de 0.8791.

On avait donc anciennement exagéré d'environ 66 pour 100 le maximum de matière sucrée, tandis que les plus récentes observations avaient amoindri de 60 centièmes le maximum de la production directe sous ce rapport.

QUATRIÈME PARTIE.

LIMITE DE TEMPÉRATURE OU CESSE LA RÉACTION DE LA DIASTASE ET SIROPS DITS IMPONDÉRABLES.

Jusque-là nos expériences avaient pour but et pour résultat de trouver les conditions favorables à la production maximum directe de glucose par la diastase : il nous restait à contrôler un ordre de phénomènes en sens inverse et antérieurement signalé.

En effet, un savant manufacturier-chimiste avait annoncé que la diastase, en perdant à la température de + 85° son pouvoir saccharifiant, conservait la propriété de fluidifier la fécule ou de la transformer en dextrine. Ce fait était nouveau et devait offrir un grand intérêt pour la science et les applications, si l'on pouvait démontrer que dans les conditions indiquées la diastase conserve une énergie notable avec une faculté nettement distincte produisant alors de la dextrine exempte de glucose, non assujettie à la fermentation et susceptible dès lors de recevoir des applications nouvelles.

Afin de bien préciser les faits sur ce point, nous avons préparé une solution de diastase par macération du malt, expression et filtration du liquide qui fut chauffé à + 85° centésimaux, puis mélangé avec l'empois de fécule amené à la même température.

Or on ne put observer, même après trois et quatre heures, une fluidification sensible : la diastase avait donc perdu sa faculté caractéristique dans ces circonstances.

Voulant alors essayer de conserver au principe actif toute son énergie jusqu'au moment de son contact avec la fécule hydratée, bien qu'il dût nécessairement en résulter—avant que l'équilibre complet de température se fût établi — une première réaction, légère sans doute, mais enfin rentrant dans la série des phénomènes connus,

Voici comment on opéra :

10 grammes de fécule furent convertis en empois par 250 gr. d'eau à la température de 100°; on laissa refroidir jusqu'à + 85° centésimaux, puis on ajouta 2 grammes de malt en poudre; au bout de 30 minutes, le mélange étant liquéfié, on le porta à l'ébullition, et la solution fut filtrée.

Cette solution limpide, analysée, contenait, pour 100cc, 0.21 de glucose et 7gr.10 de substance sèche totale; il convenait de déduire la quantité de glucose renfermée dans le malt et représentant 0gr.0705, ce qui laissait comme équivalent du produit saccharifié 0gr.1395. De ces nombres on déduit, en centièmes du produit total de la réaction, la composition suivante :

Glucose préexistante	0.99
— formée par la diastase	1.96
Substance liquéfiée	97.05
	100.00

Il était donc évident que sous les conditions où la fécule avait été dissoute il s'était formé une quantité notable de glucose. Mais pour connaître la relation véritable entre celle-ci et la dextrine simultanément produite, il fallait savoir si la portion non sucrée de la réaction spéciale était bien de la dextrine : or, en soumettant à un lavage à l'eau froide la substance desséchée, il fut facile de constater que plus des deux tiers étaient devenus insolubles, ayant, par la simple concentration, repris une grande partie de leur cohésion primitive et le caractère général d'insolubilité à froid des particules amylacées.

Après la séparation ainsi effectuée, la composition du produit liquéfié à + 85° centésimaux devait être exprimée ainsi :

Matière amylacée insoluble à froid	68.41
Dextrine? soluble à froid	28.64
Glucose initiale de l'orge germée	0.99
Glucose formée	1.96
	100.00

D'où l'on voit que le rapport de la glucose à la dextrine s'élève beaucoup et devient pour 100 de l'ensemble des deux produits : : 6.4 : 93.6. Ce n'était pas tout encore, car dans les 0.2864 solubles à froid, une grande partie était formée de substance amylacée colorable en violet par l'iode.

En effet, cette portion dissoute fut précipitée par l'alcool de façon à en éliminer la dextrine résultant d'une complète transformation.

41[c] traités ainsi donnèrent un précipité pesant 25[c], qui lui-même, par le fait de la précipitation et de la dessiccation, était devenu partiellement insoluble dans l'eau froide [1].

Si l'on réduit dans ce rapport les 28.64 de dextrine, on voit que la composition du produit liquéfié doit alors être représentée ainsi :

Substance amylacée	insoluble à l'eau froide	68.41	85.87
	précipitée par l'alcool	17.46	
Dextrine			11.18
Glucose	formée dans la réaction		1.96
	contenue dans la solution du malt		0.99
			100.00

Alors aussi la relation entre la dextrine et la glucose, l'une et l'autre formées sous l'influence de la diastase, devient 11.18 : 1.96 ou : : 100 : 14.89.

Ce n'était donc pas une exception, qui eût été fort remarquable si elle eût été réelle, à la loi générale de la transformation de l'amidon hydraté en dextrine, puis immédiatement après, d'une portion graduellement ou rapidement plus grande de celle-ci en glucose.

Une dernière expérience faite en vue de reconnaître si l'expli-

1. Les deux parties soluble et insoluble à froid offraient chacune la propriété de se colorer en violet, virant plus ou moins au rouge, suivant les proportions plus ou moins fortes d'iode. Quant à la partie dissoute et filtrée, elle était encore précipitable par l'alcool.

cation, donnée plus haut, de la réaction du malt sur l'empois à + 85° pouvait être admise, a prouvé, en effet, qu'à la température de + 80° une solution aqueuse de malt perd la propriété de fluidifier notablement l'empois contenant 0.05 d'amidon sec.

Ainsi donc, tous les doutes étaient levés sur ce point, rien ne pouvait autoriser à croire qu'à la température de + 85°, la diastase eût la propriété de transformer l'amidon en dextrine sans produire une quantité plus ou moins grande de glucose. Enfin la limite de température vers laquelle la diastase, en solution dans l'eau, perd son énergie caractéristique, demeurait fixée à + 80° centésimaux.

En rappelant et admettant le résultat dont je viens de montrer l'inexactitude, un chimiste avait cherché une limite en sens opposé au-dessous de laquelle la diastase eût cessé d'agir : après avoir démontré le fait intéressant de cette réaction toute spéciale, s'exerçant même au terme de la glace fondante, il voulut aller plus loin, et reconnut que même au-dessous de zéro, à la condition de prévenir la congélation du liquide, la diastase peut encore déterminer la dissolution de l'empois; mais, s'appuyant sur des expériences qui ne m'ont pas paru décisives, il fut conduit à penser qu'à cette température exceptionnelle la diastase conservait le pouvoir de liquéfier l'empois sans exercer d'action saccharifiante, de telle sorte qu'aux deux températures extrêmes de + 85° et de — 5 à — 15, il se serait produit de la dextrine sans glucose. Pour vérifier le fait, nous avons formé un empois avec 50cc de solution saturée de sel marin, portée à l'ébullition, et 15cc de solution semblable froide, dans laquelle 4gr.1 de fécule étaient délayés; cet empois, mis dans une éprouvette plongée dans un mélange réfrigérant, reçut une solution également saturée de sel amenée à — 15° et contenant 0gr.7 de diastase humide : la dissolution de l'empois eut lieu graduellement; au bout de cinq heures, elle était complète, et une goutte du liquide ne se colorait plus par l'iode; filtrée, la solution contenait 1gr.281 de glucose pour les 80cc de la solution saline.

4gr.1 de fécule employée, représentant 3.354 d'amidon anhydre, ont produit 1,281 de glucose ($C^{12} H^{12} O^{12}$); donc 100 gr. de fécule auraient donné 38.32 de glucose. Il est évident que, même dans ces conditions, la diastase manifeste son pouvoir caractéristique de dissoudre et saccharifier la substance

amylacée; on ne saurait donc admettre une exception à la règle générale pas plus au-dessous de zéro qu'à la limite des températures élevées, où l'énergie de ce principe actif va se trouver paralysée.

Une autre voie pour la vérification de ces quatre séries d'expériences s'offrait à moi, dans des circonstances assez remarquables sur lesquelles je demande la permission d'insister un instant; l'origine de ces dernières recherches remontait à une époque déjà éloignée. C'était en 1833, nous venions de découvrir, M. Persoz et moi, le principe actif naturel qui transforme si complètement et si vite 2000 fois son poids de fécule en substance soluble et sucrée, effectuant cette réaction singulière que M. Biot, dans son expressif et beau langage, appelait un miracle chimique.

Alors les produits plus ou moins sucrés de la réaction spéciale reçurent des applications intéressantes : la substance rapidement liquéfiée, retenant en fortes proportions les particules amylacées solubles à chaud, entra dans plusieurs préparations alimentaires, notamment celle des pains de luxe dits de *dextrine*, avec les belles farines de froment.

Les sirops obtenus le plus sucrés possible offraient une saveur très-agréable avec le léger arome de l'orge et une certaine quantité mucilagineuse bientôt appréciée, de telle façon que grâce à l'avis favorable de l'un de nos illustres confrères, les *sirops de dextrine* furent admis dans les hôpitaux et substitués pour édulcorer les tisanes aux décoctions de réglisse, bien moins agréables, et aux solutions fades de gomme arabique qui ne tardaient guère à provoquer le dégoût chez les malades.

Malheureusement les manufactures qui livraient ces sirops crurent pouvoir y substituer un produit qui leur semblait identique, et dont la fabrication leur était depuis plus longtemps et mieux connue.

Ils ignoraient, certainement alors, que les sirops obtenus par la saccharification de la fécule, au moyen de l'acide sulfurique, retiennent un composé minéral et, en tout cas, un produit spécial provenant de la réaction, qui donnent à ces sirops un arrière-goût peu agréable et des propriétés très-différentes de celles des sirops obtenus sous l'influence de la diastase.

Des plaintes fondées s'élevèrent contre l'usage de la nouvelle

matière sucrée qui ne tarda guère à être exclue du service des hôpitaux.

N'étant pas parvenu à rendre manufacturière la préparation des sirops par la diastase, on s'est efforcé de produire de semblables résultats, en réduisant le plus possible la dose d'acide sulfurique, effectuant sur du charbon d'os la filtration des sirops amenée par l'évaporation ultime dans le vide à la densité que représentent 40° Baumé.

Cette filtration favorisée par une température de 100°, que maintient la vapeur circulant dans une double enveloppe autour des filtres, est particulièrement avantageuse, non-seulement pour obtenir des sirops diaphanes, presque incolores, mucilagineux et incristallisables, mais encore pour éliminer presque complétement les composés calcaires, bien peu solubles dans la faible quantité d'eau que contient le produit.

Alors on a pu croire que toutes les propriétés des sirops préparés avec la diastase étaient acquises par ce moyen; voulant sans doute leur concilier aussi la juste faveur que ces derniers avaient obtenue du public, on crut pouvoir désigner les nouveaux produits sous les dénominations de sirops de blé ou d'orge, on les nomma aussi sirops impondérables, en raison de ce que leur viscosité empêche qu'un aréomètre s'y enfonce librement et indique son poids ou donne la mesure de leur densité.

Ils sont exempts du goût particulier au péricarpe de l'orge et reçoivent d'assez nombreuses applications économiques, bien que leur cours commercial soit plus élevé que celui des sirops dits de fécule, cristallisables en masse. Malheureusement, ils participent encore un peu des inconvénients dus aux réactions spéciales de l'acide sulfurique et n'offrent pas toutes les propriétés reconnues au sirop de dextrine produit par la réaction de la diastase.

En tout cas, il était intéressant de connaître la composition de ce nouveau produit commercial, et de vérifier si une saccharifition semblable pourrait être réalisée dans le laboratoire en opérant à l'air libre.

L'essai soigneusement exécuté permit d'établir que le sirop, dit impondérable, contient seulement 0.111 d'eau, c'est-à-dire un peu plus que la glucose isolément ne renferme d'eau de cristallisation ($C^{12}H^{14}O^{14} = 2475 : 2HO = 225 :: 100 : 9,99$). Réduit

à l'état sec, ce produit titré par le réactif cuivrique représentait en centièmes 41.73 de glucose et 58.27 de dextrine, celle-ci formant sans doute l'obstacle à la cristallisation, et favorisant ainsi l'usage dans certaines préparations alimentaires que les anciens sirops de fécule dénaturaient en se prenant en masse.

L'essai de la saccharification expérimentale eut lieu dans les circonstances suivantes : on délaya 100 grammes de fécule de pommes de terre dans 200^{cc} d'eau, et le mélange fut versé peu à peu dans 500^{cc} d'eau aiguisée par 0^{gr}.7 ou 7 décigrammes d'acide sulfurique, cette addition graduée dans le liquide, constamment maintenu à l'ébullition, dura six heures.

La liquéfaction était effectuée, mais une goutte du liquide donnait encore par l'iode une coloration violette intense; pour compléter la transformation en glucose et dextrine non colorable, on prolongea pendant vingt heures l'ébullition. Alors pour éviter toute incrustation pendant la concentration du sirop, on satura l'acide libre par le carbonate de baryte. Le liquide filtré donna par l'évaporation rapide à sec un sirop limpide presque incolore, représentant pour 100 de substance sèche :

Glucose	69.35
Dextrine	30.65
	100.00

Ainsi donc, 7 d'acide sulfurique avaient suffi pour transformer en dextrine et glucose 1000 de fécule, et sous l'influence de cette faible dose d'acide, la saccharification à la température d'une ébullition à l'air libre, durant vingt heures, s'était effectuée presque sans coloration sensible, et en transformant près des 7 dixièmes de la substance amylacée en glucose et le surplus en dextrine.

Ces longues vérifications, outre qu'elles introduisent dans la science des faits nouveaux, et pour la pratique d'utiles enseignements, à d'autres égards n'étaient pas inutiles, car ce sont toujours les derniers résultats présentés par des expérimentateurs habiles, qui sont admis généralement tant qu'ils ne sont pas contredits par de nouvelles recherches expérimentales assez nombreuses et précises, pour porter la conviction dans tous les esprits.

En attendant que je puisse faire connaître quelques nouveaux faits, d'un autre ordre, montrant aussi les résultats des influences remarquables, dépendantes de la cohésion variée dans les couches concentriques de chaque grain d'amidon, je vais présenter les conclusions principales des expériences ci-dessus décrites.

CONCLUSIONS.

I

La première série des observations précitées indique sous quelles conditions expérimentales, sans changer les proportions d'eau, ni les doses d'acide sulfurique; sans élever la températnre au delà du degré correspondant à l'ébullition du liquide; sans même prolonger la durée totale de la réaction entre des limites plus étendues que trois heures et demie à cinq heures, on peut obtenir directement de la substance amylacée des proportions de glucose dosée à l'anhydre $C^{12} H^{12} O^{12}$ et qui s'élèvent de 51 jusqu'à 83.6 pour 100: *il est donc évident que l'amidon, puis la plus grande partie de la dextrine se trouvent ainsi graduellement saccharifiées; donc il n'est pas nécessaire d'opérer en vases clos hermétiquement pour obtenir une transformation de la fécule en glucose, telle que la cristalisation puisse s'en effectuer spontanément en une masse solide.*

II

Une expérience directe a prouvé que *la dextrine commerciale, dans de semblables conditions et sous l'influence du même acide, donne un produit saccharifié contenant sec* 0.84 *de glucose pure.*

III

Une autre série d'expériences montre que *l'acide chlorhydrique est doué d'une énergie un peu plus grande encore;* à équivalent égal et suivant le mode d'opérer, il a donné, en réagissant sur la fécule, un produit contenant de 0.625 à 0.855 de glucose.

IV

L'acide chlorhydrique, que l'on fait réagir sur les tissus ligneux mais en prolongeant son contact, transforme en dextrine, puis en glucose fermentescible, la cellulose la moins agrégée et l'une des substances incrustantes presque congénère, ménageant une partie de la cellulose douée d'une plus forte cohésion ; on obtient ainsi deux produits très-distincts, l'alcool facile à rectifier et la cellulose fibreuse assez résistante pour entrer dans la composition des pâtes à papier, Les bois de hêtre, de sapin, des peupliers et la paille de céréales peuvent donner 0.10 à 0.15 d'alcool et 0.25 à 0.30 de cellulose sèche, épurée.

V

Pendant la réaction de la diastase sur la fécule, les produits fractionnés en quatre fois dans un intervalle de temps de deux heures et demie contenaient des proportions de glucose graduellement plus fortes, représentant 17.9, 20.97, 25.83, et 26.02 pour 100 de la substance sèche: *Donc la dextrine, formée après la liquéfaction complète de l'amidon, se tranforme peu à peu en glucose jusqu'au moment où vient s'y opposer l'obstacle né de la réaction elle-même* [1], c'est-à-dire la matière sucrée en dissolution dans le liquide; en effet, *après avoir éliminé par la fermentation alcoolique toute la glucose, on a pu facilement déterminer sur la dextrine la réaction saccharifiante de la diastase avec son énergie ordinaire.*

De semblables produits ayant été obtenus en soumettant à l'action de la diastase la dextrine commerciale, il est demeuré évident par les résultats de ces trois méthodes d'essai, que *la diastase a bien réellemeut le pouvoir de saccharifier la dextrine.*

VI

Une autre série d'expériences a prouvé que la levûre (ainsi que M. Guérin-Vary l'avait antérieurement reconnu) ne peut faire

1. Telle fut aussi l'une des deux théories présentées par un auteur pour expliquer la cessation des progrès de la saccharification, mais adoptant, de préférence, l'autre hypothèse, il conseillait de saturer l'acide produit spontanément, en vue d'obtenir une transformation complète de l'amidon et de la dextrine en glucose.

fermenter la dextrine ; mais en outre, comme nous l'avons démontré nous-même, *les réactions combinées de la diastase et de la levûre transforment successivement la substance amylacée en dextrine et glucose, puis celle-ci en alcool plus acide carbonique;* il est donc évident aujourd'hui que l'*on peut parvenir en suivant cette voie, clairement tracée, à la transformation complète à bien peu près, de l'amidon en dextrine, en glucose, et finalement en alcool et acide carbonique.*

Ces investigations nouvelles permettent de comprendre les résultats des meilleures opérations observées dans les distilleries de *grains* et les brasseries ; elles indiquent les conditions à remplir pour réaliser ce maximum d'effet utile, et donnent l'explication des anomalies, singulières en apparence, observées parfois dans les grandes opérations manufacturières.

VII

En instituant une autre série d'essais dans lesquels *la fécule, hydratée préalablement et transformée à chaud en empois par l'eau en excès plus ou moins grand, fut soumise à la réaction de la diastase* sous l'influence de plusieurs températures maintenues fixes pour chacune des opérations, *on est parvenu à élever jusqu'à* 0.5271 *la proportion de glucose contenue dans le produit desséché de la réaction spéciale;* si dans aucune de nos nombreuses expériences nous n'avons dépassé ce terme de la saccharification diastasique directe, à plus forte raison n'avons-nous pu atteindre les 0.8791 annoncés anciennement par un autre expérimentateur : celui-ci avait donc exagéré de 66 pour 100 le maximum qu'il est possible de produire directement, tandis que dans le mémoire présenté l'année dernière on amoindrissait de 62 centièmes le maximum de la production réelle.

VIII

Lors même que l'on atteint le maximum de la production sucrée par la diastase, le sirop de glucose et dextrine obtenu est bien certainement incristallisable. Le fait contraire, antérieurement annoncé, ne pouvait reposer que sur une erreur.

IX

Nous sommes arrivés à un résultat négatif en essayant d'obtenir à la température de + 85° la transformation de l'amidon en dextrine, sans production du glucose : vers la limite où le pouvoir de la diastase va cesser, les deux produits de la réaction spéciale se forment encore sous son influence ; il n'y a donc pas là d'exception à la loi générale. Si, d'ailleurs, la diastase réagit sur l'empois à +85°, c'est qu'elle-même n'a pas été préalablement portée dans sa solution aqueuse à une température aussi élevée; lorsqu'on prend cette précaution, *la limite réelle de son action dissolvante et saccharifiante s'abaisse un peu au-dessous de* + 80° *centésimaux.*

X

La réaction de la distase, s'exerçant encore aux basses températures de 5 à 10° au-dessous de 0°, était un fait remarquable dont nous avons vérifié l'exactitude; mais dans ces circonstances il ne se forme pas, comme on l'avait annoncé, de la dextrine exclusivement; nous avons pu constater, en effet, que le produit de la fluidification contenait pour 100 de fécule anhydre 38.22 de glucose.

Cette expérience n'apporte donc pas non plus une exception à la règle générale de l'action diastasique.

XI

Les sirops épais, diaphanes, presque incolores, incristallisables, fabriqués en grand et *livrés actuellement au commerce sous les dénominations de sirops impondérables* [1] *de blé, de froment ou d'orge germée, sont fabriqués au moyen de la fécule de pomme de terre saccharifiée par* 0.007 *environ de son poids d'acide sulfurique ; ils contiennent seulement* 0.111 *d'eau, un des plus beaux échantillons renfermait pour* 100 *de matière sèche* 41.73 *de glucose. En les substituant aux sirops de dextrine obtenus par la fécule saccharifiée à l'aide de la*

1. On les désigne ainsi parce que l'aréomètre ne peut s'y enfoncer assez librement pour en mesurer le poids spécifique.

diastase, on a rendu l'opération manufacturière plus facile sans doute, on a aussi évité le goût spécial à l'orge maltée, mais sans pouvoir produire une saveur sucrée aussi franche, ni les qualités mucilagineuses qui recommandaient les sirops de dextrine dans la thérapeutique, ni réaliser les avantages qui résultent, dans la préparation de la bière, de l'emploi des sirops ou liquides sucrés obtenus par la réaction du malt sur l'amidon.

XII

La faible dose de 7 millièmes d'acide sulfurique suffit, dans les conditions expérimentales indiquées, pour porter la proportion de glucose dans les sirops jusqu'à 0.69 *du poids de la matière organique,* même en opérant à vases ouverts. Cependant, lorsqu'on emploie une aussi faible dose d'acide pour transformer l'amidon en glucose, il reste encore de l'acide sulfurique et de la chaux, très-sensibles aux réactifs, même après la filtration des sirops sur le noir animal [1].

La proportion de sulfate ou de sulfo-glucosate de chaux est moindre toutefois que dans les sirops à 33° et dans la glucose cristallisée en masse; ce serait un motif de plus pour substituer à ceux-ci, dans la fabrication de la bière, les sirops préparés à l'aide de la diastase et sans emploi d'aucune quantité d'acide, un tel changement serait utile en vue de l'amélioration des qualités organoleptiques et salubres de cette boisson [2].

1. Nous avons trouvé dans le sirop *impondérable* 0.31, et dans la glucose cristallisée en masse, 0.50 de sulfate de chaux pour 100 parties.

2. Depuis la présentation de ce mémoire, on a cru pouvoir interpréter plusieurs résultats de mes expériences suivant une théorie qui ne m'a pas semblé pouvoir être admise.

On peut admettre, a-t-on dit, que l'amidon sous l'influence de l'acide sulfurique, se dédouble en dextrine et glucose avec fixation d'eau, exactement comme les corps gras qui donnent avec le même acide un acide gras, et de la glycérine avec fixation d'eau. Mais on a fait remarquer, non sans raison, cette différence capitale, selon moi, que l'un des produits de la décomposition de l'amidon peut se transformer dans l'autre; c'est précisément là ce que j'ai établi d'une façon incontestable, et ce que l'on avait méconnu d'abord, c'est enfin ce qui n'arrive pas avec les corps gras. Au surplus, il pourrait être intéressant pour les chimistes de comparer les interprétations différentes de faits bien précisés aujourd'hui, ils trouveront la note qui s'y rapporte dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1862, pages 194 à 197.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

SUR UNE POMPE DE MM. FARCOT ET FILS.

M. Mary, inspecteur général des ponts et chaussées, a fait construire chez MM. Farcot et fils une pompe à deux pistons et à double effet, d'un système qui est propre à ces constructeurs, et qui était destinée à l'alimentation de la ville de Lisbonne.

Cette pompe devait, aux termes du marché, fournir 47 litres par tour ; elle devait fonctionner à une vitesse qui pût varier de 30 à 60 tours par 1′; elle devait élever l'eau à 20 mètres.

Bien que cette machine exige un moteur puissant, elle a pu être installée dans la salle des machines en mouvement du Conservatoire impérial des arts et métiers, et elle y a été soumise à une série d'expériences dont les résulats seront indiqués dans le présent procès-verbal.

On verra par la description que nous donnerons de cet appareil qu'il n'exige que deux soupapes disposées dans l'intérieur des pistons, sans aucun autre clapet de retenue. Ces soupapes peuvent démasquer des orifices de grandes dimensions, et la propriété dont il jouit de fonctionner pratiquement, en faisant un grand nombre de tours par minute, tient surtout à cette circonstance, et à ce que la course est d'ailleurs très-faible par rapport diamètre des pistons.

La pompe a été placée au-dessus de l'un des canaux du réservoir en maçonnerie, destiné à l'expérimentation des machines hydrauliques ; l'aspiration s'est faite au moyen d'un tube en zinc plongeant dans ce canal; le refoulement s'est fait par les tuyaux de 0.18 centimètres de diamètre, qui communiquent avec les réservoirs de la tour.

Ce diamètre de 0.18 était certainement insuffisant, puisque la

section correspondante ne représente que le sixième de celle des cylindres, et cette circonstance a donné lieu à des pertes de travail assez grandes, tant par suite des frottements que par suite de l'excès de vitesse de l'eau dans le parcours.

Pour tenir compte, autant que possible, de ces conditions défavorables, nous avons établi une communication entre le réservoir d'eau de la pompe et un manomètre à air libre placé à quelque distance; la charge au-dessus de ce réservoir pourra dès lors être estimée par ce manomètre, et l'effet utile de la pompe pourra être calculé au moyen de cette charge.

C'est ce que nous avons fait, notamment, lorsqu'en diminuant, au moyen d'une vanne placée à la naissance, la section libre du tuyau de refoulement, nous avons cherché à faire fonctionner la pompe dans des conditions voisines de celles pour lesquelles elle a été construite.

Dans trois expériences seulement, la pression calculée au moyen de l'indication du manomètre s'est trouvée inférieure à celle qui correspondait à la hauteur de l'eau: nous avons rejeté ces trois expériences comme douteuses, mais nous avons conservé avec soin les résultats de celles pour lesquelles la pression estimée au manomètre conduisait à des résultats plus élevés que l'observation directe; c'est qu'alors le tuyau de refoulement avait été en partie fermé par la vanne de manière à augmenter la pression résistante.

Dans toutes les expériences le travail moteur a été mesuré par l'intermédiaire d'un dynamomètre de rotation à style, sur la poulie duquel la courroie motrice était montée.

Quant au débit de la pompe, il était mesuré dans un des réservoirs de la tour, où un observateur notait le niveau au moment précis où il entendait les deux coups de sifflet annonçant le commencement et la fin de l'expérience.

Le tableau suivant fait connaître toutes les indications fournies par l'observation :

Diamètre de la poulie de la pompe.	1.95
Diamètre de la poulie du dynamomètre.	0.82
Rapport des diamètres des deux poulies.	2.38

Tableau des expériences faites sur la pompe de MM. Farcot et fils.

DATES des OBSERVATIONS	NUMÉROS des expériences.	ORDONNÉE moyenne de la courbe.	EFFORTS correspondants.	NOMBRE DE TOURS du dynamomètre par 1'.	TRAVAIL MOTEUR par 1" au dynamomètre.	DURÉE de l'expérience.	VOLUME D'EAU élevé.	HAUTEUR d'élévation.	TRAVAIL EN EAU montée par 1".
		m.					lit.	m.	
6 août 1861.	2	8.32	73.55	79.5	251.03	3' 15"	4914	4.300	108.38
	3	8.30	73.38	104.0	327.60	2.30	4914	4.300	140.87
	4	8.76	77.44	126.0	418.90	2. 2	4914	4.300	173.19
	5	7.90	69.84	143.0	428.75	1.48	4914	4.300	195.65
	7	13.125	116.02	95.0	473.21	2.39	4914	10.225	316.01
	8	13.45	118.90	99.0	505.36	2.24	4314	10.225	348.92
7 août 1861.	10	14.84	131.19	121.5	684.29	2. 3	4914	10.180	406.70
	11	13.45	118.90	97.0	495.15	2.44	4914	10.180	305.03
	12	12.30	108.73	66.5	308.10	4. 2	4914	10.180	[illegible]
	13	15.35	135.03	57.3	332.36	4.45	4952	13.250	230.20
	15	16.86	149.04	78.5	502.31	3.29	4952	13.250	313.90
	16	17.70	156.47	120.0	806.12	2.10	4952	13.250	604.70
9 août 1861.	17	17.73	156.73	150.0	1009.36	1.51	4952	13.050	573.20
	18	9.94	87.87	56.7	214.09	4.15	4914	7.050	135.80
	19	11.76	103.96	111.0	495.42	2.22	4914	7.050	244.40
	20	13.20	116.69	142.5	713.89	1.48	4952	7.050	320.80
17 août 1861	21	17.29	145.23	124.0	773.15	2. 4	4952	13.050	521.10
	22	26.00	229.84	121.0	1194.02	2.16	4952	13.050	401.60
	23	15.34	135.61	74.6	434.66	3.34	4952	13.050	321.00
	24	17.30	152.93	131.0	860.13	1.57	4952	13.050	552.30

Le travail moteur a varié depuis 214 kilogrammètres par seconde jusqu'à 1194; les hauteurs depuis 4m.300 jusqu'à 13m.050, et ces limites comprennent un grand nombre de chiffres intermédiaires qui nous conduiront à plusieurs conclusions importantes.

Pour nous assurer que le glissement de la courroie n'apportait dans nos constatations aucune erreur sensible, nous avons, chaque fois, observé le nombre des tours du dynamomètre et celui de la pompe. Eu égard aux diamètres, ce rapport devrait être constant et égal à 2m.38; nous verrons, dans un des tableaux qui suivent, qu'en réalité il s'est très-peu éloigné de ce chiffre.

Les chiffres de la dernière colonne, comparés à ceux de la sixième, permettent déjà d'obtenir une première évaluation du rendement de la machine en eau montée; nous verrons ultérieurement comment ces premiers chiffres doivent être modifiés pour conduire à des résultats plus précis.

Quant aux autres résultats calculés qui figurent au deuxième

tableau, ils se déduisent immédiatement des données directes d'expériences, déjà indiquées.

Tableau des résultats calculés des expériences sur la pompe de MM. Farcot et fils.

NUMÉROS des expériences.	NOMBRE DE TOURS du dynamomètre par 1'.	NOMBRE DE TOURS de la pompe par 1'.	NOMBRES précédents multipliés par 2,38.	RENDEMENT BRUT de la pompe.	COLONNE de mercure observée au manomètre.	HAUTEUR d'eau correspondant.	HAUTEUR TOTALE en tenant compte de l'aspiration.	VOLUME D'EAU débité par un tour de la pompe.	RENDEMENT de la pompe en volume.
					atmos.	m.	m.		
2	79.5	33.50	78.54	0.431	0.37	3 82	4.12	45.82	0.960
3	104.0	42.40	100.91	0.430	0.38	3.93	4.25	46.36	0.972
4	126.0	55.08	131.09	0.413	0.42	4.34	4.66	43.90	0.920
5	143.0	60.55	144.11	0 456	0.46	4.75	5.07	45.06	0.945
7	95.0	39.62	94.29	0.667	0.96	9.92	10.16	46.58	0.976
8	99.0	43.75	104.52	0.690	0.96	9.92	10.16	46.80	0.981
10	121.5	55.00	130.90	0.594	1.03	10.64	10.84	43.57	0.954
11	97.0	40.50	96.39	0.612	0.96	9.92	10.12	45.25	0.914
12	66.0	28.0	66.64	0.670	1.03	10.64	10.84	43.51	0.912
13	57.3	24 33	57.91	0.692	1.32	13.64	13.91	42.85	0.898
15	78.5	32.5	77.35	0.624	1.34	13.84	14.11	43.76	0.917
16	120.0	50.00	119.0	0.626	1.43	14.77	15.04	45.71	0.958
17	150.0	61.98	147.51	0.567	1.48	15.26	15.55	43.18	0.905
18	56.7	23.75	56.52	0.634	0.66	6.82	7.08	48.68	
19	111.0	45.48	108.24	0.492	0.71	7.33	7.60	45.65	0.957
20	142.5	60.00	142.80	0.448	0.78	8.06	8.33	45.50	0.954
21	124.0	52.68	125.38	0.674	1.32	13.64	13.91	45.48	0.953
22	121.0	49.50	117.81	0.360[1]	2.20	22.73	23.00	44.13	0.925
23	74.6	31.00	73.78	0.736	1.23	12.71	12.98	44.78	0.939
24	131.0	55.00	130.90	0.642	1.36	14.05	14.32	45.21	0.948

1. La petitesse de ce chiffre résulte de l'étranglement presque complet du tuyau de refoulement; mais, en réalité, l'effet utile est beaucoup plus considérable.

Ce tableau montre immédiatement que les glissements des courroies ont été très-faibles, et que la pompe a fourni, dans toutes les circonstances, une quantité d'eau représentant de 0.90 à 0.98 du volume engendré par le piston. Mais pour apprécier l'effet utile réel, et estimer l'influence des conditions dans lesquelles l'appareil a fonctionné, il est bon de grouper les chiffres de la manière suivante :

NUMÉROS des expériences.	HAUTEUR réelle d'élévation.	EFFET UTILE calculé d'après cette hauteur.	HAUTEUR estimée d'après le manomètre.	EFFET UTILE calculé d'après cette hauteur.	NOMBRE de tours de la pompe par 1'.
2	4.30	0.431	4.12	0.431	33.00
3	4.30	0.430	4.25	0.431	42.40
4	4.30	0.413	4.26	0.447	55.08
5	4.30	0.456	5.07	0.537	60.55
	Moyenne	.....	.....	0.461	
18	7.05	0.634	7.08	0.637	23.75
19	7.05	0.492	7.60	0.530	45.48
20	7.05	0.448	8.33	0.530	60.00
	Moyenne	.....	.....	0.566	
7	10.225	0.667	10.16	0.667	39.62
8	10.225	0.690	10.16	0.690	43.75
11	10.180	0.612	10.12	0.612	40.50
10	10.180	0.594	10.84	0.632	55.00
12	10.180	0.670	10.84	0.714	28.00
	Moyenne	.....	.....	0.662	
23	13.05	0.736	12.98	0.736	31.00
13	13.25	0.692	13.91	0.737	24.33
21	13.05	0.674	13.91	0.710	52.68
15	13.25	0.624	14.11	0.665	32.50
24	13.05	0.642	14.32	0.704	55.00
16	13.25	0.626	15.04	0.710	50.00
17	13.05	0.567	15.55	0.687	61.98
22	13.05	0.360	23.00	0.704	55.00
	Moyenne	.....	.....	0.707	

L'évaluation de la pression résistante au moyen du manomètre à mercure est d'autant plus sujette à erreur qu'il faut multiplier par 10.33 les indications directement relevées sur l'instrument ; il est évident d'ailleurs que la pression calculée de cette manière ne peut jamais être inférieure à la pression observée directement dans la colonne d'eau ascendante. Aussi avons-nous conservé dans la cinquième colonne les chiffres de la troisième toutes les fois que cette anomalie s'est présentée.

Un premier fait ressort de l'inspection du tableau qui précède.

L'eau ayant été élevée dans quatre bassins situés à des hauteurs différentes, nous voyons par les moyennes de chaque série qu'abstraction faite de toute autre considération, l'influence

d'une augmentation de hauteur se traduit toujours par une augmentation d'effet utile.

1er bassin	0.461
2e bassin	0.566
3e bassin	0.662
4e bassin	0.707

Pour la pression maxima qui équivaut à une hauteur de 23.00, l'effet utile est à peu près égal à cette dernière moyenne (0.704).

C'est là un fait général que toutes les pompes doivent présenter ; mais nous pensons qu'il n'a jamais été mis en relief d'une manière aussi complète que par ces expériences. Si l'eau n'est élevée qu'à une très-petite hauteur, on dépense réellement moins de travail, mais celui du frottement entre dans ce travail total pour une proportion plus grande.

Les frottements des différents organes et les autres causes de résistance n'augmentant pas dans la même proportion que le travail utile, il se trouve que, pour les grandes élévations, celui-ci représente une proportion constamment croissante du travail total, et c'est précisément ce qui s'est présenté dans les expériences dont nous venons de rendre compte.

Si maintenant nous examinons les chiffres de chacune des séries en particulier, nous pourrons chercher à déterminer l'influence de la vitesse de la pompe.

Si nous nous bornions à la première série, nous serions conduit par les chiffres à conclure que les grandes vitesses sont préférables ; il est impossible cependant d'admettre cette conséquence, qui serait loin d'être vérifiée d'ailleurs par les trois autres séries.

Dans la seconde, le rendement s'élève à 0.637 pour 23.75 tours ; il s'abaisse à 0.530 pour les vitesses de 44 et de 50 tours.

Dans la troisième série, l'effet utile de 0.74 pour 28 tours est notablement moindre pour toutes les vitesses plus grandes.

Dans la quatrième série encore, nous voyons que les rendements les plus élevés, de 0.736 et 0.737, correspondent aux plus petits nombres de tours, ce qui confirme ce que nous avons dit de l'influence de la vitesse. Il est cependant remarquable d'obtenir encore 70 pour 100 d'effet utile avec une marche de plus de 60 tours par minute, surtout dans une installation provisoire qui ne pou-

vait présenter la même rigidité que celle dont on s'assurera certainement lors du montage définitif.

L'expérience nº 22 est surtout importante; elle a été faite en présence de M. Mary, et elle fait voir que la machine peut fonctionner régulièrement à 55 tours par minute, qu'à cette vitesse elle donne un effet utile de 0.70, encore bien qu'une rentrée d'air un peu trop grande dans le conduit d'aspiration ait réduit le volume d'eau réellement élevé à 0.925 du volume développé par le piston. Dans cette expérience, le débit de la pompe, avec 23 mètres de charge, ne se serait pas élevé à moins de 125 mètres cubes par heure.

Nous avons vu que le tuyau de refoulement était d'un diamètre trop petit, et nous ne pourrions nous rendre qu'un compte bien imparfait de l'amoindrissement d'effet utile qui est déterminé par cette cause.

Dans l'expérience nº 22 il s'est écoulé 4952 litres d'eau en 136″, et par conséquent 36.41 litres par seconde; ce débit s'effectuant dans un tuyau dont la section est 0.0284, la vitesse de cette eau est $v = \frac{0.03641}{0.0284} = 1.28$; la demi-force vive de cette eau sera donc pour une seconde $\frac{mv^2}{2} = \frac{36.41 \times 1.28^2}{19.61} = 2.56$ kilogrammètres. Si l'on voulait tenir compte du travail correspondant à l'excès de vitesse nécessité par l'insuffisance du tuyau, il faudrait donc ajouter une partie de ces 2.56 kilogrammètres au travail de l'eau élevée par seconde, qui est ici $36.41 \times 23 = 836$ kilogrammètres. Cette addition ne modifierait pas sensiblement la proportion d'effet utile, et nous devons, par conséquent, nous borner au chiffre de 0.70, auquel nous nous sommes prudemment arrêté.

Ce rendement est déjà très-favorable; au-dessous de 45 tours le fonctionnement est si régulier que l'on n'entend, pour ainsi dire, aucun choc; mais ces chocs deviennent sensibles au delà de cette limite, qui ne devra pas dans la pratique être dépassée de beaucoup.

Nous remarquerons, en terminant, que les grandes ouvertures des clapets sont obtenues de la manière la plus simple et que leur construction est parfaite. Quant à l'idée de faire passer l'eau successivement par les deux pistons de deux pompes accouplées, elle a été réalisée depuis longtemps par M. Stoltz dans l'une de

ses pompes de ménage; mais chez lui les clapets s'ouvrent dans le même sens, et les deux pistons fonctionnent à l'inverse l'un de l'autre.

La nouvelle disposition de MM. Farcot est plus simple; elle se prête mieux aux grandes dimensions, et ces habiles constructeurs l'ont fait adopter déjà pour de grandes pompes destinées au service municipal des eaux de Paris.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

H. Tresca.

Paris, le 13 décembre 1861.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

Description de la pompe de MM. Farcot.

La figure première, planche 12, est une élévation de la machine parallèlement à la couronne du volant. La figure deuxième est une coupe verticale par un plan perpendiculaire, faite suivant les axes des deux tiges de pompes.

Les deux cylindres A et A' ont, l'un et l'autre, un diamètre de 0m.450; leurs pistons B et B' ont seulement une course de 0m.15, ce qui permet de rendre plus nombreuses les alternances de leurs mouvements dans un temps donné.

Ces deux pistons sont reliés respectivement par leurs tiges *b* et *b'* à la traverse *c*, dont les deux extrémités *c*, *c* sont embrassées par les deux bielles D, D', articulées chacune à leur autre extrémité aux deux boutons de manivelles *e*, *e* de l'arbre horizontal E, sur lequel est monté le volant G qui sert de poulie motrice.

On voit, par les détails de cette transmission, que les deux

pistons se meuvent simultanément dans le même sens, et ils sont construits de telle façon que l'eau arrive constamment en M par le tuyau d'aspiration, pour être ensuite refoulée en P, dans le régulateur à air.

Le piston B est garni sur toute sa surface de clapets, qui s'ouvrent lorsque ce piston monte, tandis que les clapets, d'ailleurs semblables du piston B′, s'ouvrent au contraire quand le système des pistons descend.

Les deux pistons étant, comme l'indique la figure, au bas de leur course commune, pendant leur mouvement ascensionnel le piston B′ fera aspiration au-dessous de lui, et l'eau entrant en M se fera passage au travers des clapets ouverts des pistons. Quant à l'eau, située au-dessus de B′, elle sera refoulée dans le régulateur pendant toute la course ascensionnelle des pistons. Lorsque, au contraire, les deux pistons redescendront ensemble, les clapets du piston B se tiendront fermés et refouleront au travers des clapets de B′ une partie de l'eau contenue dans le réservoir N, qui constitue une sorte de poche dans laquelle se disposeront les matières solides entraînées avec l'eau, et dont l'expulsion se fera à volonté par le regard R. Pendant toute cette période, le piston B, agissant comme s'il était plein, aspirera, d'ailleurs, l'eau au-dessus de lui ; les deux pistons se succéderont dans cet effet d'aspiration, comme dans l'effet de refoulement, et le jet sera continu, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à aucune autre soupape que celle des pistons eux-mêmes.

Si les clapets de ces pistons offraient, lorsqu'ils sont ouverts, une section libre égale à celle du tuyau d'aspiration, on éviterait la plus grande partie des pertes de force vive, et c'est pour cette raison que M. Farcot leur a donné des dimensions très-grandes. Ils sont divisés par les clapets en trois branches parallèles, fermées chacune au moyen de deux ventaux inclinés, formés par la superposition d'une lame de cuir coupée en biseau le long des lèvres de contact, d'une lame épaisse de caoutchouc faisant ressort et constituant, avec la précédente, la charnière, et d'une plaque de métal qui donne à chaque ventail la rigidité nécessaire. En variant la nature ou l'épaisseur du caoutchouc, on donne au ressort la force qui convient aux conditions spéciales dans lesquelles la pompe doit fontionner.

La figure troisième représente exactement les dispositions de

ce piston : *m*, lame de cuir; *n*, lame de caoutchouc formant ressort; *p*, garniture en métal pouvant s'ouvrir jusqu'au contact des arrêts *q*, fixés au piston. Les clapets de refoulement sont disposés d'une manière identique par rapport au piston B′ que l'on ne peut mieux comparer qu'au piston B qui serait retourné sens dessus dessous.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES SUR

UNE POMPE A MEMBRANE DE M. BRÜLL.

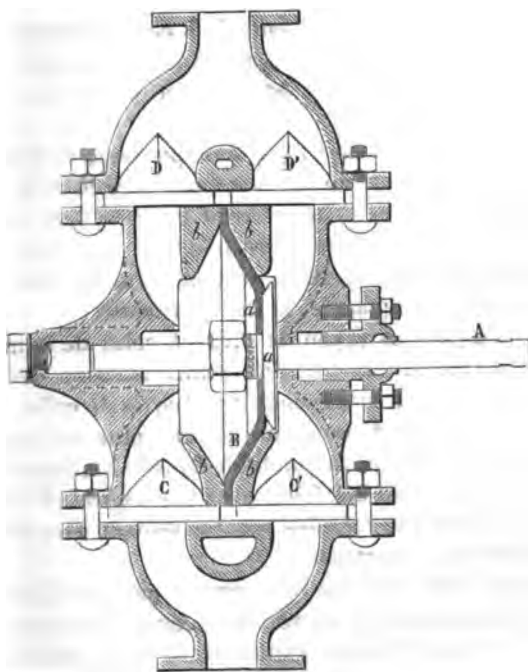
La pompe que M. Brüll, ingénieur civil, nous a demandé d'expérimenter au Conservatoire se compose d'un petit nombre d'organes groupés d'une manière très-simple. Le piston est remplacé, comme dans toutes les pompes du système de *la pompe des prêtres*, par une membrane dont le déplacement sert à modifier dans le corps de la pompe la capacité qui renferme l'eau.

La membrane est ici formée d'un cuir, ou de deux cuirs superposés; elle est circulaire et maintenue sur tout son pourtour entre deux mâchoires fixes, formées par les deux parties de l'appareil. A sa partie centrale cette membrane est également retenue entre deux rondelles ou disques de métal; mais ceux-ci sont liés à la tige qui doit les faire fonctionner, au moyen d'un collet et d'un écrou, qui assurent invariablement leur position par rapport à cet axe. Celui-ci est d'ailleurs guidé dans son mouvement, d'une part par le stuffing-box qu'il traverse au sortir du corps de pompe, et par son autre extrémité au moyen d'une partie cylindrique ménagée à l'intérieur de la pompe elle-même.

La course de cette tige ne peut excéder 6 centimètres, et dans les expériences qui ont été faites elle n'a dépassé qu'une seule fois 55 millimètres. La membrane, en prenant successivement une forme convexe, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, aspire d'un côté pendant qu'elle refoule du côté opposé, et remplit ainsi le même rôle que le piston ordinaire d'une pompe à double effet, sur lequel elle offre cet avantage que les frottements de ce piston sont remplacés par la seule résistance offerte par le cuir à la très-petite déformation qui vient d'être indiquée.

Le diamètre de la membrane est très-grand par rapport à la longueur de la course; il n'á pas moins de 25 centimètres de diamètre, et l'effort exercé sur lui par la pression d'une seule atmosphère est d'environ $\frac{\pi}{4} \times 0.25^2 \times 10.330^k = 507$ kilogrammes.

Un effort aussi considérable, qui doit changer de direction après chaque course de 6 centimètres, exige une grande stabilité dans le mode de fondation de l'appareil, et cette circonstance nous a sous ce rapport donné dans notre installation provisoire des difficultés telles que nous n'avons pu les vaincre d'une manière suffisante, et que nos expériences manquent sous ce rapport d'un des éléments d'exactitude auxquels nous attachons d'ordinaire une grande importance. Cette difficulté d'installation se rencontrerait certainement dans les applications que l'on voudrait faire de ce système comme pompe mobile.



Nous donnons, dans la figure ci-jointe, une coupe transversale de la pompe de M. Brüll.

A est l'arbre de la pompe.

a, *a'* les deux rondelles en fonte entre lesquelles la membrane est maintenue.

B la membrane elle-même retenue par ses bords entre deux guides circulaires *b* qui, formant gorge conique, l'empêchent de se déformer outre mesure.

Les deux soupapes d'aspiration sont en C; les deux soupapes de refoulement en D; et M. Brüll a employé pour cet usage les soupapes en caoutchouc, bien connues, de M. Perreaux, dont la forme est celle d'une conoïde à base circulaire et à directrice rectiligne horizontale. Ces soupapes, qui réussissent très-bien pour les petites pompes, offrent peut-être dans l'application actuelle une disproportion un peu grande, dans leur section libre avec celle du piston. Elles sont fendues sur toute la longueur de la direction supérieur, et cette fente de 8 centimètres doit, lorsque les lèvres s'écartent, laisser passage à toute l'eau qui est appelée dans la pompe, ou qui en est expulsée par le mouvement du piston.

En supposant que cette fente puisse par suite de l'élasticité de la matière prendre une forme absolument circulaire, la circonférence de ce cercle ne pourrait avoir que 2×0.08 ou 16 centimètres, et cette dimension correspondrait à un rayon de 0.025 mètre, ou à une section libre de 0.0020 mètre carré, qui ne pourra jamais être dépassée, ni même atteinte.

Si l'on compare ce rayon de 0.025 à celui de la membrane, qui est de 0.125, on voit que l'ouverture maxima des soupapes ne représente que la vingt-cinquième partie de celle du piston, ce qui est évidemment une condition défectueuse, qui devra se traduire par une diminution notable dans le rendement.

Les expériences ont été faites avec une aspiration de 1 mètre environ, et l'eau a été refoulée successivement dans des bassins placés à différentes hauteurs.

La pompe était mise en mouvement par une grande bielle verticale agissant par un renvoi en équerre, dont l'appareil lui-même était muni; à l'autre extrémité la bielle était fixée à une manivelle montée sur l'arbre d'un dynamomètre de rotation. On a chaque fois compté le nombre des tours du dynamomètre, déterminé par un tracé dynamométrique l'effort moyen, recueilli l'eau débitée dans un bassin rectangulaire préalablement jaugé, et l'on pourra, d'après les chiffres suivants, se rendre compte des calculs qui ont été faits pour l'évaluation du rendement de la pompe, aux différentes vitesses auxquelles on l'a fait fonctionner.

Les différences observées, quant au volume d'eau débité par chaque coup de piston, tiennent en grande partie à ce que l'on a fait varier la course du piston, pour compenser, autant que possible, le jeu considérable qui existait dans les articulations, autant toutefois qu'il était prudent de le faire sans courir le risque de déterminer la rupture, par le choc qu'aurait pu produire l'une des rondelles *a* contre les parois du corps de pompe, dans le cas où les limites de la course auraient été mal réglées.

Nous avons dans le tableau suivant interverti l'ordre réel de quelques-unes des expériences, dans le but de mettre plus nettement en évidence l'influence de la hauteur à laquelle l'eau a été successivement élevée.

Tableau des expériences faites sur la pompe à membrane de M. Brüll.

NUMÉROS des expériences.	DURÉE des expériences.	NOMBRE de tours du dynamomètre par 1'.	EFFORTS moyens correspondants.	TRAVAIL moteur par 1'.	EAU ÉLEVÉE par 1'.	TRAVAIL correspondant en eau élevée.	RENDEMENT.	VOLUME D'EAU par coup de piston.
1re *Série.* — Volume total d'eau élevée 1475 litres ; hauteur d'élévation $4^m.73$.								
	m. s.				lit.			
1	30.10	24.72	9.22	587	48.89	231.3	0.39	0.985
2	26. 0	29.75	8.21	675	56.73	268.3	0.40	0 955
3	16.30	43.66	11.13	1251	89.34	422.6	0.34	1.020
2e *Série.* — Volume total d'eau élevée 1475 litres ; hauteur d'élévation $7^m.78$.								
4	46.30	20.04	10.72	553	31.72	216 7	0.45	0.790
5	20. 0	39.00	14.09	1415	73.75	573.7	0.41	0.945
6	15.30	50.32	17.65	2287	95.16	740.3	0.32	0.945
5e *Série.* — Mêmes conditions ; mais avec membrane réduite à une seule épaisseur de cuir.								
7	19.40	47.00	22.28	1501	75.00	583.5	0.39	0.795
3e *Série.* — Volume total d'eau élevée 1475 litres ; hauteur d'élévation $10^m.80$.								
8	53.25	21.18	12.23	667	27.61	298.2	0.45	0.650
9	39. 7	26.70	13.80	949	37.70	407.2	0.43	0.705
10	24. 0	39.50	15.42	1568	61.46	663.7	0.42	0.758
11	19. 5	50.64	18.35	2293	77.28	834.6	0.35	0.756
4e *Série.* — Volume total d'eau élevée 1186 litres ; hauteur d'élévation $13^m.82$.								
12	62.45	27.77	11.80	844	23.64	326.7	0.39	0.435
13	20.35	39.88	23.56	2419	72.18	997.5	0.41	0.905
14	16.35	49.03	25.07	3166	89.58	1238.0	0.39	0.655
15	8	68.25	43.58	7661	184.38	872.0	0.11	1.350

Toutes ces expériences sont extrêmement concordantes, pour chacune des séries dont se compose le tableau. On voit que le rendement va notablement en diminuant à mesure que la vitesse augmente.

Pour 50 tours environ par 1′, il est dans la première série représenté par la fraction 0,34, dans la 2e par 0,32, dans la 3e par 0,35, et enfin dans la 4e par 0,39. A égalité de vitesse, le rendement paraît donc, comme dans les pompes à piston, augmenter avec la hauteur, mais d'une manière beaucoup moins rapide.

Quant à l'influence de la vitesse, on voit que jusqu'à 40 tours on a presque partout des chiffres égaux ou supérieurs à 0,40; on n'atteint 0,45 que par des vitesses peu supérieures à 20 tours seulement.

La seule expérience qui ait été faite à une vitesse de 68 tours aurait fourni, si elle pouvait mériter toute confiance, le chiffre de 0,11 seulement; mais, cette indication résultant d'une seule expérience, il ne conviendrait pas d'en tirer une conséquence trop absolue, alors surtout que l'on voit le volume par coup de piston dépasser même le volume théorique, qui a été calculé pour les courses extrêmes de 6 centimètres à 1lit.30 par coup de piston. Il est vrai que cette expérience est bien celle dans laquelle la course du piston a été la plus grande, et que l'eau, s'élançant avec une plus grande vitesse par les clapets d'aspiration, peut, en agissant par elle-même sur les clapets de refoulement, qui sont placés respectivement dans les mêmes axes, donner lieu à un débit réellement plus considérable que le débit théorique.

Nous aurions désiré faire les vérifications nécessaires pour mettre à l'abri de toute incertitude ce résultat intéressant, mais la rupture de la manivelle de la pompe ne nous a pas permis de le faire.

Dans l'expérience unique de la 5e série, le dédoublement du cuir et le retournement d'une rondelle qui avait été jusqu'alors mal placée, auraient dû produire une légère augmentation dans le rendement : c'est en effet ce que confirme le chiffre de 0,39 de l'expérience no 7, par rapport au chiffre 0,32 de l'expérience précédente.

De l'ensemble de ces résultats on peut conclure : 1o que la pompe à membrane de M. Brüll n'utilise, dans les conditions

les plus favorables des expériences faites, que 0,45 du travail moteur;

2° Que, malgré les précautions prises par le constructeur pour établir autant que possible une communication directe entre les soupapes d'aspiration et les soupapes de refoulement, l'effet utile est notablement diminué au delà d'une vitesse de marche de 40 tours par minute, qu'il conviendra de ne plus dépasser en pratique;

3° Que cette pompe à membrane ne saurait en aucune façon convenir à une allure plus rapide.

Disposée de manière à ne pas déformer la membrane, autant que le sont celles des différentes pompes du même genre qui ont été déjà proposées, elle offre l'avantage d'un fonctionnement sûr, d'une facile installation, de ne donner lieu qu'à des réparations faciles, ne consistant, dans la plupart des cas, qu'en un remplacement de cuir et de soupapes, dont le prix est minime, et dont on aura toujours soin d'être convenablement approvisionné.

On améliorerait certainement son effet utile, sans lui faire perdre ces avantages, si, en augmentant sa course et en diminuant le diamètre de sa membrane, on rapprochait davantage la surface de cet organe principal des dimensions relativement insuffisantes qui ont été données aux soupapes, dans le modèle que nous avons fait fonctionner.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers,

H. TRESCA.

Paris, le 15 mars 1862.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES SUR LA

RÉSISTANCE DE LA FONTE MALLÉABLE

à la flexion et à la traction.

A l'occasion d'une comparaison demandée par Son Excellence M. le maréchal ministre de la guerre, entre l'emploi de la fonte malléable et du fer dans la confection de certains objets de harnachement, nous avons été conduit à étudier les propriétés mécaniques de la fonte malléable.

On sait que le fer, sous cet état particulier, entre maintenant pour beaucoup dans la fabrication de certains articles de ménage ou de serrurerie, et même dans la construction des machines, et que sous ce dernier rapport la fonte malléable offre l'avantage d'être obtenue par la voie du moulage, procédé qui se prête économiquement aux formes les plus compliquées.

La fonte malléable s'obtient, dans les ateliers de M. Dalifol, de l'emploi exclusif du mélange de certaines fontes d'Écosse, blanches ou truitées; et c'est seulement après le moulage que les objets doivent être soumis à un traitement particulier, qui consiste à maintenir à une température très-élevée, et pendant plusieurs semaines, les objets moulés, au milieu de creusets remplis de minerai de fer oxydé.

Le carbone de la fonte se dégage en partie dans cette opération, et jusqu'à une certaine profondeur le métal acquiert absolument des propriétés analogues à celles du bon fer.

A cet état il peut être forgé, et en le cémentant à la manière ordinaire, on peut ensuite le tremper comme l'acier, et lui faire acquérir une dureté considérable.

Nous avons fait pratiquer ces diverses opérations sur des canons de pitolets, et les résultats nous ont paru tellement remarquables, que nous avons conservé les échantillons sur lesquels

elles ont été faites, pour la galerie de métallurgie du Conservatoire.

Pour les expériences de flexion, M. Dalifol nous a fourni quatre barres à sections carrées, de longueurs différentes. Nous les désignons par des lettres distinctes, que nous affecterons de notations particulières, lorsque nous nous occuperons des échantillons extraits de la barre primitive.

Voici l'énumération de ces spécimens :

A,	section	0.01×0.01;	longueur	0.60.
B,	—	0.02×0.02;	—	0.81.
C,	—	0.03×0.03;	—	0.81.
D,	—	0.04×0.04;	—	0.60.

C'est dans cet ordre que nous les examinerons successivement.

La première barre A, dont la section moyenne, mesurée avec beaucoup de soin, était 0.01×0.0098, a été chargée à son milieu, et pour une portée $2C = 0^m.570$, de poids successifs variant de 8 en 8 kilogrammes, et l'observation des flèches au cathétomètre a donné les résultats suivants :

Barre A; $a = 0.0098$; $b = 0.01$; $C = 0.285$.

Charges en kilogrammes.	Flexions en millimètres.	Flexions calculées pour 10^k.
8	1.96	2.45
16	4.02	2.51
24	5.98	2.49
32	7.96	2.49
40	10.22	2.55
48	14.48	3.01

La dernière charge a évidemment dépassé la limite de l'élasticité, et en admettant pour cette limite la charge de 40 kilogrammes, on voit que la flexion moyenne par 10 kilogrammes est de 2.495 millimètres.

Le moment d'inertie de la section est donné par la formule

$$I = \frac{1}{12} ab^3 = 0.0000000008416.$$

En l'introduisant dans la formule générale de la valeur du coefficient d'élasticité $E = \frac{PC^3}{3fI}$ on trouve :

$$E = \frac{500 \times \overline{0.285}^3}{3 \times 0.002495 \times I} = 18\,929\,000\,000$$

Ce coefficient d'élasticité est très-élevé, et correspond à un fer de bonne qualité.

La charge correspondante à la limite d'élasticité étant d'environ 40 kilogrammes, on trouve par la formule habituelle

$$p=\frac{b}{2}\ \frac{PC}{I}=8\,731\,000 \text{ k.}$$

Si ce chiffre devait être admis pour la limite exacte de la charge, qui, appliquée directement à une tige de 1 mètre carré de section, atteindrait les limites d'élasticité, il en faudrait conclure que, sous ce rapport, cette première barre de fonte malléable résiste notablement moins qu'une barre de fer.

La deuxième barre B, dont les dimensions étaient exactement, $a=0.020$; $b=0.021$; $l=0.81$, a été essayée, avec une portée de 0.77, par charges successives de 16 kilogrammes. Bien qu'on n'ait pas dépassé la limite d'élasticité, on peut en conclure la valeur du coefficient E, ainsi qu'il suit :

$$I=\tfrac{1}{12}ab^3=0.0000000154$$

$$E=\tfrac{1}{3}\frac{PC^3}{fI}=16\,300\,000\,000$$

C'est ce qui résulte des chiffres suivants :

Barre B; $a=0.020$; $b=0.021$; $C=0.385$.

Charges en kilogrammes.	Flexions en millimètres.	Flexions calculées pour 10^k.
16	0.60	0.37
32	1.24	0.38
48	1.84	0.38
64	2.46	0.38
80	3.10	0.38
	Moyennes.........	0.38

C'est cette moyenne qui a servi à calculer la valeur de E, déjà moindre pour cette barre que pour la précédente.

La troisième barre C, dont la longueur est de 0.81, a été chargée d'une manière plus rapidement croissante, ses dimensions transversales étant plus grandes par rapport à sa longueur.

Voici l'indication des chiffres constatés :

Barre C; $a=0.029$; $b=0.029$; $C=0.384$.

Charges en kilogrammes.	Flexions en millimètres.	Flexions pour 10[k].
40	0.28	0.070
80	0.56	0.070
160	1.34	0.084
200	1.76	0.088
240	2.18	0.091
280	2.50	0.091
320	2.94	0.092

On voit par les chiffres de la dernière colonne que les flèches augmentent plus rapidement que les charges dès le commencement de la série : la pièce reste courbe après le déchargement, et le calcul donne, d'après la dernière flèche :

$$I=0.000000707280$$
$$E=16\,011\,400\,000$$

L'élasticité est encore moindre que celle de la barre précédente.

Ces premières déterminations nous avaient conduit à penser que la conversion de la fonte en fer malléable n'est pas assez complète dans la profondeur, et pour vérifier la valeur de cette appréciation, nous avons fait réduire la barre D, de 0.04×0.04, qui n'aurait pu être directement essayée, à une épaisseur de 0.015, en ayant soin d'enlever à la machine à raboter deux des surfaces extérieures.

Les essais ont fourni les chiffres suivants :

Barre D', avec deux croûtes; $a=0{,}0405$; $b=015$; $C=0{,}279$.

Charges en kilogrammes.	Flexions en millimètres.	Flexions pour 10[k].
16	0.36	0.225
32	0.62	0.194
48	0.94	0.196
64	1.26	0.196

La première flexion seule est un peu anormale, et en calculant le coefficient d'élasticité sur la moyenne des trois autres, on trouve :

$$I=0.0000000114$$
$$E=16\,240\,000\,000$$

c'est-à-dire un chiffre un peu plus élevé que pour la barre C.

Nous avons extrait de cette barre D' un petit barreau D'', auquel nous n'avons laissé qu'une épaisseur de 0.009, qui se faisait remarquer sur la tranche par une couleur plus blanche et plus brillante, indiquant ainsi la complète transformation de la fonte en fer.

Voici les éléments qui déterminent le coefficient d'élasticité de ce barreau :

Barreau D'', $a=0.009$; $b=0.015$; $C=0.2775$.

Charges en kilogrammes.	Flexions en millimètres.	Flexions calculées pour 10^k.
8	1.90	2.375
16	3.72	2.325
24	5.60	2.333
32	7.68	2.400
	Moyenne.........	2.358

Ce qui correspond à

$$I=0.0000000009 11$$
$$E=16\,579\,000\,000$$

Cet échantillon, qui ne comprend que le bord de la pièce, accuse nettement une augmentation de résistance, par rapport à tous ceux des précédentes expériences.

Pour mettre cette influence tout à fait hors de doute, nous avons pris au milieu de la pièce D' une règle carrée de 0.15×0.15, que nous désignerons par D''', et qui formait l'axe de la pièce primitive D : si elle n'avait pas été suffisamment modifiée dans sa composition par le recuit, elle devait nous donner un coefficient d'élasticité analogue à celui de la fonte.

Voici les résultats des observations :

Règle D'''; $a=0.015$; $b=0.015$; $C=0.2775$.

Charges en kilogrammes.	Flexions en millimètres.	Flexions calculées pour 10^k.
16	0.90	0.562
32	1.86	0.581
48	2.94	0.612
64	4.54	0.709
80	5.44	0.680
	Moyenne........	0.629

Dès la charge de 48 kilogrammes, nous voyons que les flexions s'exagèrent, et par conséquent l'élasticité commence à s'altérer.

La valeur de I étant :

$$I = 0.00000000422$$

on trouvera pour la flexion moyenne

$$E = 12\,240\,000\,000$$

Mais il vaut mieux ne calculer cette valeur que pour une flexion égale à la moyenne de celle indiquée par les deux premières expériences, c'est-à-dire pour $f = 0.561$, qui conduit à

$$E = 14\,785\,000\,000$$

c'est-à-dire un coefficient d'élasticité égal à celui des bonnes fontes.

Cette analyse, en quelque sorte mécanique des divers échantillons, peut se résumer en un seul tableau :

Indication des échantillons.		Coefficient d'élasticité.
Barre	A, de 0.01 d'épaisseur avec ses croûtes.	18 929 000 000
	B, de 0.02.	16 300 000 000
	C, de 0.03.	16 011 000 000
Barreaux	D″ de 0.009 d'épaisseur avec 1 croûte.	16 579 000 000
	D′ de 0.015. . . . . . . 2 croûtes.	16 240 000 000
	D‴ de 0.015, central.	14 785 000 000

Ces indications établissent la mesure du décroissement de l'élasticité, quand l'épaisseur augmente, et fait bien voir qu'au delà de 1 centimètre d'épaisseur l'action décarburante est loin d'être complète.

Le rabotage de la barre avait d'ailleurs constaté les mêmes faits, mais sans permettre de les traduire en chiffres aussi précis.

La première passe a fourni des copeaux de fer, contournés en hélice, formant chacun 8 ou 10 spires, avec un petit nombre de ruptures sur la longueur ; à cinq millimètres de profondeur les copeaux deviennent très-courts, et n'atteignent jamais une demi-spire ; à douze millimètres ce ne sont plus que des copeaux de fonte, d'une moindre longueur encore. Ces différents aspects établissent surabondamment que si, par la décarburation, on obtient à la surface du fer de bonne qualité, cette opération ne pénètre qu'à 5 millimètres environ, et qu'au delà on retrouve de la fonte, sans altération sensible dans ses propriétés primitives.

A cinq millimètres même l'action n'est pas complète ; mais nous citerons comme très-remarquable le coefficient de rupture d'une barre de 5 millimètres sur 5, et de 0.45 de longueur, qui,

par traction, n'a rompu que sous une charge de 875 kilogrammes, ce qui correspond à 35 kilogrammes par millimètre carré. Ce résultat démontre que la transformation est presque complète pour l'épaisseur de 5 millimètres.

Au moment où l'emploi de la fonte malléable se propage, il nous a semblé qu'il y avait quelque intérêt à faire connaître des chiffres précis, qui indiquent dans quelles limites cette matière remarquable peut être employée utilement et avec sécurité; ce sont, à notre connaissance, les premières qui aient été publiées sur ce sujet.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers,

H. TRESCA.

Paris, le 15 février 1862.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

Nous avons pensé que les indications précédentes prendraient un nouvel intérêt, si nous les accompagnions du rapport sur les objets de harnachement, qui nous avaient été fournis par l'administration militaire. On verra dans quelles circonstances l'emploi de la fonte malléable peut présenter, même sur celui du fer, de notables avantages.

RAPPORT

SUR L'EMPLOI DE LA FONTE MALLÉABLE A LA CONFECTION DES ÉTRIERS ET DES MORS DE BRIDE EN USAGE DANS L'ARMÉE.

Son Excellence M. le maréchal ministre de la guerre a fait remettre au Conservatoire des arts et métiers divers modèles d'étriers et de mors de bride en fer et en fonte malléable : ces objets ont été soumis à des expériences comparatives, faites dans le but de reconnaître s'ils présentaient les uns et les autres la même certitude de résistance.

ÉTRIERS.

Les étriers en fer étaient de la forme générale de ceux en service dans l'armée : les deux branches avaient un diamètre moyen de 11 millimètres; le cadre de la grille avait en moyenne une section de 10 millimètres sur 11.

Le poids de chacun de ces étriers était de 477 grammes. Les étriers en fonte ne pesaient que 419 grammes : les branches étaient à peu près de même section que celles des étriers en fer, mais la hauteur de la grille était réduite à 8 millimètres.

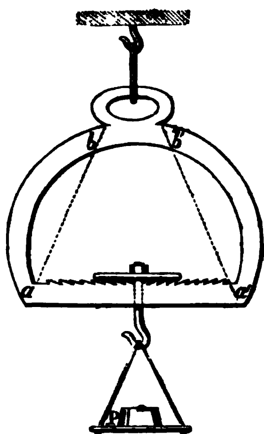


Fig. 1.

Trois étriers, deux en fer et un en fonte, ont été soumis aux mêmes épreuves : on les a attachés par leur anneau; on a suspendu sous la grille des poids de plus en plus considérables, et l'on a noté pour chaque charge les allongements déterminés entre les points de repère *a* et *b*, *a'* et *b'* (*fig.* 1), soit par la flexion des bras, soit par celle du patin lui-même, dont la courbure avait pour effet de rapprocher le point *a'* du point *a*.

Les résultats des expériences sont réunis dans le tableau suivant :

ÉTRIER EN FER, N° 1.				ÉTRIER EN FER, N° 2.				ÉTRIER EN FONTE, N° 3.			
CHARGE en kilog.	DISTANCE ab en millim.	DISTANCE a'b' en millim.	ALLONGEMENT moyen.	CHARGE en kilog.	DISTANCE ab en millim.	DISTANCE a'b' en millim.	ALLONGEMENT moyen.	CHARGE en kilog.	DISTANCE ab en millim.	DISTANCE a'b' en millim.	ALLONGEMENT moyen.
0	104.10	106.10	»	0	113.00	110.90	0.05	0	106.20	110.10	»
52	104.10	106.10	»	200	113.10	110.90	0.05	96	106.25	110.15	0.05
100	104.50	106.40	0.35	400	113.30	111.00	0.20	192	106.25	110.15	0.05
196	104.50	106.40	0.35	600	113.30	111.30	0.35	288	106.25	110.15	0.05
296	104.60	106.60	0.50	800	113.50	111.60	0.60	394	106.30	110.20	0.10
392	104.90	106.60	0.65	1000	»			490	106.50	110.30	0.25
488	104.90	106.80	0.75	Rupture au bas du tirant.				586	106.80	110.60	0.50
584	104 90	106.80	0.75					682	107.00	111.00	0.85
776	105.40	107.80	1.50					778	107.50	111.60	1.40
872	105.80	108.30	1.95					874	108 00	112.10	1.90
922	106.00	108.80	2.30					970	108.40	112 80	2.45
972	106.50	109.20	2.75					1066	109.00	113.50	3.10
1004	106.50	109.40	2.85					1162	109.50	114.00	3.60
Rupture au bas du tirant.								1258	110.00	114.50	4.10
								1354			
								Rupture transversale de la grille.			

Le second étrier en fonte malléable a été abandonné à l'action de la pesanteur à une hauteur de 15 mètres : en tombant pour la seconde fois sur le pavé, il s'est produit une simple fissure à la naissance de l'une des branches. La fonte malléable nous paraît présenter, d'après ces expériences, toute sécurité, surtout si l'on renforçait la grille, en lui donnant une épaisseur de 10 millimètres au lieu de 8, épaisseur qui serait encore moindre que celle des grilles en fer.

Les cassures de la fonte malléable étaient saines, mais le grain était loin d'être aussi uniforme que le serait celui d'un bon fer: on pourrait certainement améliorer la fabrication en fondant sur des modèles plus soignés et de section plus régulière.

Quant aux deux étriers en fer, qui s'étaient rompus de la même façon, ils ont manifesté dans leurs cassures des défauts identiques; toutes les soudures des grilles avec les branches étaient imparfaites, et il serait important de modifier sous ce rapport la fabrication, de manière à reporter ces soudures sur d'autres points.

Les deux ruptures qui se sont produites, en même temps que les précédentes, aux points d'attache des anneaux, n'ont pas fourni un caractère aussi nettement tranché, mais le fer y présentait également une altération notable résultant de ce que les soudures y sont trop multipliées. On doit observer aussi que le fer de la branche de l'étrier n° 1 s'est fissuré dans toute sa longueur sous l'action de la charge, par suite de l'emploi d'une qualité de fer insuffisante.

C'est sans aucun doute à ces imperfections qu'il faut attribuer l'infériorité relative des étriers en fer, et sous ce rapport la fonte malléable, à la condition d'être bien décarburée, nous paraît présenter plus de garantie. Il suffirait de soumettre quelques étriers à la rupture, lors des livraisons, pour reconnaître si le grain de la cassure est convenable.

MORS DE BRIDE.

Les deux mors en fer provenaient du magasin de la garde impériale; ils pesaient chacun 440 grammes; le diamètre du fer employé à la confection de la courbure des branches était de 7 millimètres et demi.

Les deux mors en fonte avaient été livrés par le magasin général; ils ne pèsaient que 400 grammes, bien que les dimensions fussent restées à peu près les mêmes dans toutes les parties. Les anneaux et la barrette étaient seuls en fer.

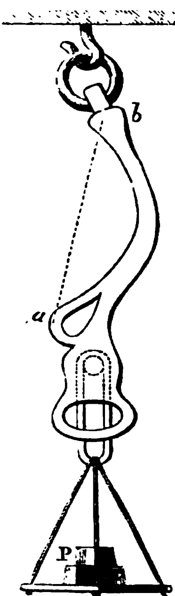


Fig. 2.

Pour soumettre ces mors à des expériences de résistance, nous les avons suspendus par leurs anneaux, et nous avons chargé de poids le milieu du canon; ce mode de chargement a eu pour effet de redresser les branches, c'est-à-dire de produire l'action inverse de celle que l'effort du cavalier pourrait déterminer : si nous admettons que la résistance à la flexion soit la même dans les deux sens, ces expériences seront tout à fait concluantes.

Pour établir une comparaison entre les déformations, on a sous chaque charge mesuré la distance variable *cd* (*fig.* 2).

Toutes les mesures prises sont indiquées dans le tableau suivant :

MORS EN FER No 1.			MORS EN FER No 2.			MORS EN FONTE No 3.			MORS EN FONTE No 4.		
CHARGE en kilog.	LONGUEUR cd en millim.	LONGUEUR c'd' en millim.	CHARGE en kilog.	LONGUEUR cd en millim.	LONGUEUR c'd' en millim.	CHARGE en kilog.	LONGUEUR cd en millim.	LONGUEUR c'd' en millim.	CHARGE en kilog.	LONGUEUR cd en millim.	LONGUEUR c'd' en millim.
0	84.8	0.	0	72.2	0.	0	85.8	0.	0	72.6	
25	85.2	0.4	46	73.8	1.6	25	86.2	0.4	46	73.8	1.2
45	85.3	0.5	94	74.5	2.3	45	86.7	0.9	62	75.3	2.7
65	85.4	0.6	142	81.4	9.2	55	87.3	1.5	88	77.3	4.7
85	85.7	0.9	190	86.0	13.8	65	89.0	3.2	104	81.0	8.4
105	87.8	3.0	238	88.5	16.3	75	91.0	5.2	120	84.2	11.6
125	89.7	4.9	286	90.0	17.8	0	90.0	4.2	136		
0	89.0	4.2	326			80	93.4	7.6			
125	90.5	5.7				90	95.0	9.2			
145	92.2	7.4				100	96.4	10.6			
165	94.5	9.7				110	98.0	12.2			
185	95.2	10.4				120	99.2	13.4			
205	96.6	11.8				130	100.2	14.4			
225	97.8	13.0				140					
245	98.5	13.7									
265	99.2	14.4									
0	98.8	14.0									
288	100 0	15.2									
308	100.8	16.0									
328	101.2	16.4									
348	101.4	16.6									
368	102.0	17.2									
388	102.2	17.4									
408	102.6	17.8									
428	102.7	17.9									
448	102.9	18.1									
468	103.0	18.2									
492	103.1	18.3									
516	103.1	18.3									
540	103.2	18.4									
0	103.0	18.2									

Dans les deux expériences faites sur les mors en fer, les branches se sont redressées à peu près de la même quantité, et dans de telles conditions que leur partie courbe s'était exactement placée dans la direction du tirage : on aurait pu dès lors continuer à charger jusqu'à rupture, par traction, de la partie la plus faible.

Le mors no 1 a soutenu une charge de 540 kilogrammes; nul doute que l'autre spécimen n'eût soutenu la même charge si les anneaux n'avaient cédé par défaut de soudure.

Après avoir enlevé la charge, on a pu faire reprendre aux branches leur courbure primitive, à froid, et sans aucun déchirement du fer.

Les mors en fonte ont beaucoup moins résisté : dans les précédentes expériences sur les mors en fer, les allongements de 14 et 11 millimètres n'avaient été produits que par des charges de 205 et de 265 kilogrammes : ici ces mêmes allongements se sont présentés sous des charges très-inférieures, de 130 et de 120 kilogrammes. La résistance des courbures des branches est donc considérablement amoindrie par la substitution de la fonte malléable au fer, et cette substitution ne pourrait être faite sans danger, que si l'on donnait aux parties courbes des branches des dimensions beaucoup plus grandes en diamètre.

L'une des courbures seulement ayant été brisée dans l'expérience n° 3, nous avons voulu redresser à froid celle qui était restée intacte, mais la pièce s'est rompue sous le marteau dès les premières tentatives.

Nous pensons d'après ces résultats qu'il serait imprudent de confectionner en fonte les branches, les barrettes, ou les anneaux, mais il serait sans inconvénient d'opérer cette substitution sur le canon, dont les extrémités se riveraient tout aussi bien si elles étaient en fonte malléable. La résistance surabondante que l'on donne à cette pièce ne peut laisser aucune incertitude à cet égard.

En résumé :

1° En ce qui concerne les étriers, nous pensons que la fonte malléable peut être employée avec sécurité ; les dimensions pourraient d'ailleurs être amoindries, soit pour la fonte, soit même pour le fer, si l'on adoptait un mode de fabrication plus rationnel, quant à la disposition des quatre soudures actuelles ;

2° En ce qui concerne les mors de brides, nous pensons que le canon est la seule pièce qui puisse être exécutée en fonte malléable, et que le fer doit à tous titres être préféré pour les branches et pour la barrette.

Des expériences plus méthodiques sont entreprises pour étudier en elles-mêmes les résistances que la fonte malléable présente à la flexion et à la traction : les résultats auxquels elles doivent conduire, expliqueront d'une manière plus complète les conséquences que nous venons de déduire des épreuves sous lesquelles nous avons essayé les étriers et les mors de bride.

H. T.

DÉTERMINATION

DE

L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR

AU MOYEN D'EXPÉRIENCES

CONSISTANT A PRODUIRE DE LA CHALEUR PAR UN TRAVAIL MÉCANIQUE

par M. JOULE de Manchester.

Les expériences de M. Joule qui ont servi à déterminer directement (c'est-à-dire sans employer l'intermédiaire de l'électricité, dont l'action est encore mal connue), et dans des circonstances diverses, l'équivalent mécanique de la chaleur, ont été admises par beaucoup de physiciens modernes comme prouvant, au moins avec une assez grande approximation, l'exactitude du nombre 430, résultat moyen de ces recherches. Autrement dit, on admet que l'unité de chaleur, la quantité de chaleur nécessaire pour élever de zéro à un degré la température d'un kilogramme d'eau, peut se transformer théoriquement en une quantité de travail mécanique mesuré par 430 kilogrammes élevés à un mètre.

Il importe beaucoup aux progrès futurs de la science de ne conserver aucun doute sur l'exactitude d'une détermination aussi capitale. Avant donc de discuter ce point, et de parler de recherches qui peuvent conduire à la modifier, il nous a paru nécessaire de reproduire intégralement les deux mémoires publiés par M. Joule sur la question, mémoires qui ne sont connus en France que par des extraits qui ne permettent pas d'apprécier le degré d'exactitude des observations. A ce point de vue, on sera nécessairement frappé du peu d'élévation des températures observées par ce physicien dans plusieurs cas, ce qui constitue alors, à notre avis, une objection fort sérieuse. Pour toute personne qui a pris la température d'eau qui va en se refroidissant, la précision de la mesure d'une différence de quel-

ques dixièmes de degré Fahrenheit, c'est-à-dire d'un nombre presque moitié moindre de degrés centigrades, ne paraîtra pas suffisante pour conclure avec une entière certitude, pour que, malgré toutes les précautions, la grandeur des erreurs d'observation ne soit pas comparable à celle des résultats observés[1].

C. L.

PREMIER MÉMOIRE

DE

L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR

PAR

M. JAMES PRESCOTT JOULE, de Manchester[2].

Mémoire lu à la Société royale de Londres le 21 juin 1849.

« La chaleur est une vive agitation des particules d'un corps, qui produit en nous la sensation qui nous fait dire qu'un objet est chaud ; c'est-à-dire que pour nous la sensation est *chaleur ;* mais dans l'objet elle n'est que *mouvement.* » LOCKE.

« La *force* d'un corps en mouvement est proportionnelle au quarré de sa vitesse, ou à la hauteur à laquelle il s'élèverait malgré l'action de la gravité. » LEIBNITZ.

Suivant la promesse faite par moi, depuis plusieurs années déjà, à la Société royale, j'ai l'honneur de lui présenter les résultats des expériences que j'ai faites pour déterminer exactement l'équivalent mécanique de la chaleur. Je commencerai par une

1. La grande longueur des divisions du thermomètre employé par M. Joule nous paraît un remède insuffisant. Si un thermomètre, avec son enveloppe de verre qui conduit mal la chaleur, ne peut donner, étant plongé dans l'eau qui ne reste pas à une température stationnaire, qu'une mesure approchée d'un faible accroissement de température, la longueur des divisions ne sera d'aucune utilité pour évaluer la chaleur qui ne parviendra pas à l'instrument ; elle sera même nuisible si elle est acquise par l'accroissement de volume de la boule, car il en résultera la nécessité de la transmission d'une plus grande quantité de chaleur pour une même augmentation de température.

2. *Transactions philosophiques* de la Société royale de Londres pour 1850.

courte notice sur la théorie mécanique, en me bornant à la partie qui a rapport à l'objet direct de mes recherches. Je n'aurai pas par suite à parler des travaux de M. Forbes et de plusieurs autres savants illustres dont les recherches se rapportent à la chaleur rayonnante et autres questions qui ne sont pas abordées dans le présent mémoire.

Il y a bien longtemps que l'on a formulé l'hypothèse que la chaleur « était un mouvement appartenant aux corps. » Mais il était réservé au comte de Rumford de faire les premières expériences décisives en faveur de ce système. Ce physicien justement célèbre a démontré, par d'ingénieuses expériences, que la grande quantité de chaleur produite lors du forage d'un canon ne pouvait être expliquée par le changement de chaleur spécifique du métal, et en a par conséquent conclu que le mouvement imprimé par le foret aux molécules du métal produisait le phénomène de la chaleur. « Il en résulte pour moi, remarque-t-il, une extrême difficulté, si cela n'est pas impossible, de me former une idée distincte de quelque chose, susceptible d'être excité ou communiqué de la manière dont la chaleur est excitée ou communiquée dans ces expériences, si ce n'est du mouvement. »

L'une des plus importantes parties du mémoire du comte de Rumford, à laquelle on a fait trop peu d'attention jusqu'à ce jour, est celle dans laquelle il évalue le travail mécanique qui produit une certaine quantité de chaleur. Rapportant sa troisième expérience (*Philos. Trans.*, vol. XVIII, p. 283), il remarque que « la quantité totale d'eau, prise à la température de la glace fondante, à 0°, que la chaleur engendrée par le frottement et accumulée en $2^h,30^m$ chauffa à 180° (F) ou vaporisa, était d'un poids de 26,58 livres. » Dans la page suivante, il établit « que le mécanisme employé dans l'expérience peut aisément être mû par la force d'un cheval (pour rendre le travail plus léger, on employait cependant deux chevaux). » Le travail d'un cheval a été estimé par Watt à 33,000 pieds-livres par minute, et par suite, continué pendant 2 heures et demie, donne 4,950,000 livres-pieds qui, dans l'expérience de Rumford, seraient l'équivalent de la chaleur communiquée à 26,58 livres portées à 180°. Donc la chaleur nécessaire pour échauffer une livre d'eau de 1°, est l'équivalent du travail représenté par 1,034 livres-pieds. Ce résultat n'est pas extrêmement différent de celui qui résulte des expériences rap-

portées dans le présent mémoire, c'est-à-dire de 772 livres-pieds, et il faut observer que l'excès de l'équivalent obtenu par le comte de Rumford s'explique bien par cette circonstance dont il fait lui-même mention, « qu'il n'a pas estimé la chaleur accumulée dans la caisse de bois, ni celle dispersée pendant l'expérience. »

Vers la fin du dernier siècle, sir HUMPHRY DAVY a publié un mémoire dans la *Revue* du docteur *Beddoes*, intitulé « Recherches sur le feu, la lumière et la respiration, » dans lequel on trouve une ample confirmation des vues du comte de Rumford. En frottant deux morceaux de glace l'un sur l'autre dans le vide, une partie de celle-ci se fond, bien que la température du récipient soit inférieure à celle du point de congélation. Cette expérience est décisive en faveur de la doctrine de l'immatérialité du feu, d'autant plus que la capacité de la glace pour la chaleur est beaucoup moindre que celle de l'eau. C'est donc avec juste raison que Davy en tira cette conséquence « que la cause immédiate du phénomène de la chaleur est le mouvement, et que les lois de sa communication sont précisément les mêmes que les lois de communication du mouvement. »

Les recherches de DULONG sur la chaleur spécifique des fluides élastiques ont été récompensées par la découverte de ce fait remarquable, « que des volumes égaux de fluides élastiques pris à la même température et sous la même pression, s'ils sont comprimés ou dilatés d'une même fraction de leur volume, degagent ou absorbent la même quantité absolue de chaleur. » Cette loi est de grande importance pour le développement de la théorie de la chaleur, parce qu'elle prouve que l'effet calorifique est, dans certaines conditions, proportionnel au travail dépensé.

En 1834, le docteur FARADAY démontra « l'identité des forces chimiques et électriques. » Cette loi, ainsi que d'autres découvertes par ce grand homme, touchant les relations qui existent entre le magnétisme, l'électricité et la lumière, a fait progresser l'idée que les prétendus fluides impondérables ne sont que les apparences diverses des forces. M. Grove et M. Mayer ont puissamment fait valoir ces vues.

Mes propres expériences sur ce sujet ont été commencées dans l'année 1840, en laquelle j'ai communiqué à la Société royale ma découverte de la loi de la chaleur dégagée par l'électricité voltaïque, loi dont on tire immédiatement ces conséquences : 1° que

la chaleur dégagée par tout couple voltaïque est proportionnelle, *cæteris paribus*, à l'intensité de la force électro-motrice, et 2° que la chaleur produite par la combustion d'un corps est proportionnelle à l'intensité de son affinité pour l'oxygène (*Phil. Mag.*, t. XX). Je suis ainsi parvenu à établir une relation entre la chaleur et l'affinité chimique.

En 1843, j'ai trouvé que la chaleur dégagée par la magnéto-électricité était proportionnelle au travail consommé, et que cette force dans une machine électro-magnétique dérive de l'affinité chimique en jeu dans la pile, qui, dans d'autres circonstances, produit de la chaleur. Par l'observation de ces faits, je me suis considéré comme fondé à annoncer « que la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'une livre d'eau de 1° (F) est égale, ou peut être convertie en une force mécanique capable d'élever verticalement, à un pied de hauteur, un poids de 838 livres. »

Dans un mémoire postérieur, lu devant la Société royale en 1844, j'ai cherché à prouver que la chaleur absorbée ou dégagée par la raréfaction ou la compression de l'air était proportionnelle au travail produit ou consommé dans ces opérations. La relation entre la chaleur et le travail mécanique, déduite de ces expériences, est identique avec celle déduite des expériences électro-magnétiques rapportées ci-dessus, et est confirmée par les expériences de M. Séguin sur la dilatation de la vapeur (*Comp. Rend.*, t. XXV).

L'explication donnée par le comte de Rumford du dégagement de la chaleur par le frottement des solides devait faire prévoir, comme conséquence, que le dégagement de la chaleur pouvait aussi résulter du frottement des liquides et des gaz[1]. Sans doute, il y avait quelques faits, comme l'échauffement de l'eau de la mer après plusieurs jours de tempête, qui ont été attribués au frottement des fluides; mais le monde scientifique,

1. Cette assimilation n'est pas aussi admissible qu'il semble à priori. Ce que nous appelons frottement des liquides n'est pas un phénomène simple; il n'est pas douteux que des communications de force vive, des productions de mouvements orbitaires, n'accompagnent toute agitation produite dans l'intérieur des liquides, et comme ils restent sous forme mécanique, qu'ils ne sont nullement transformés en chaleur, l'absence de leur mesure rend contestables les résultats des expériences dont M. Joule indique ici le point de départ. C. L.

préoccupé de l'hypothèse que la chaleur est une substance, et partant de quelques expériences imparfaites de Pictet, a nié presque unanimement la possibilité d'engendrer ainsi de la chaleur. La première mention que je connaisse d'expériences dans lesquelles la production de la chaleur par le frottement de fluides soit affirmée, se rapporte à celles du docteur Mayer (*Annales* de Wœhler et Liebig, mai 1842), dans lesquelles il établit qu'il a élevé la température de l'eau de 12° à 13° C., en l'agitant, mais sans indiquer les quantités de travail consommées à cet effet, ni les précautions prises pour assurer l'exactitude du résultat. En 1843, j'ai annoncé ce fait « que de la chaleur est dégagée par le passage de l'eau à travers des tubes étroits » et que, pour produire chaque degré Farh. de chaleur de l'eau ainsi engendrée, il y a consommation d'un travail mécanique de 770 livres-pieds. Enfin, en 1845 et 1847, j'ai employé une roue à palettes pour produire un frottement de fluides, et j'ai obtenu les équivalents 781,5, 782,1 et 787,6, par l'agitation de l'eau, de l'huile et du mercure. Ces résultats, concordant parfaitement entre eux et avec ceux précédemment déduits d'expériences sur les fluides élastiques et la machine électro-magnétique, ne laissant aucun doute dans mon esprit sur la relation d'équivalence entre la chaleur et le travail; je sentis la très-grande importance d'obtenir la détermination de ce rapport avec un très-grand soin. Tel est l'objet du présent mémoire.

Description des appareils. — Les thermomètres employés ont leurs tubes calibrés et gradués d'après la méthode de M. Regnault. Deux d'entre eux, que j'appellerai A et B, ont été construits par M. Dancer de Manchester, le troisième C par M. Fastré de Paris. La graduation de ces instruments est très-correcte et leurs indications coïncident à moins de 1/100 de degré Fahr. près. Je possède, en outre, un autre instrument fort exact de M. Dancer, dont l'échelle embrasse les deux points fixes de congélation et d'ébullition. Ce dernier point du thermomètre étalon a été obtenu comme d'habitude en immergeant le réservoir et la tige dans la vapeur s'élevant d'une quantité considérable d'eau pure en ébullition rapide. Durant cette opération le baromètre marquait 29,94 pouces et la température de l'air 50°; le point ainsi observé exige donc une petite correction pour le ramener et 0,760 à 0° cent.,

pression usitée en France et sur tout le continent pour déterminer le point d'ébullition de l'eau, et à laquelle j'ai ramené tous les nombres qui figurent les recherches thermométriques que j'ai entreprises. Les valeurs des échelles des thermomètres A et B ont été déterminées en les plongeant en même temps que l'étalon dans de grands volumes d'eau maintenus à diverses températures. La valeur de l'échelle du thermomètre C a été déterminée par comparaison avec A. On a ainsi trouvé que les nombres de divisions qui correspondent à 1° Fahr. dans les thermomètres A, B, C sont 12,951, 9,820, et 11,647. La pratique m'a appris à lire de loin, à l'œil nu, 1/20° de division et par suite à apprécier avec ces instruments 1/200° de degré Fahr.

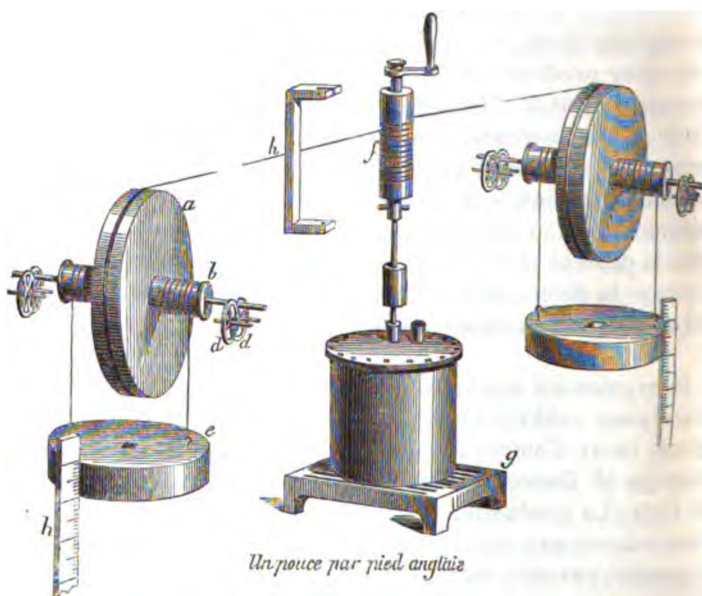
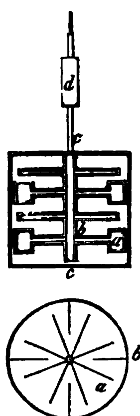


Fig. 1.

La figure 2 représente une section verticale de l'appareil employé pour produire le frottement de l'eau, consistant en palettes de laiton garnissant 8 leviers tournants, palettes qui tournent entre quatre vannes fixes pareillement en laiton. L'axe de rotation en laiton se meut librement, sans vibration, dans ses cous-

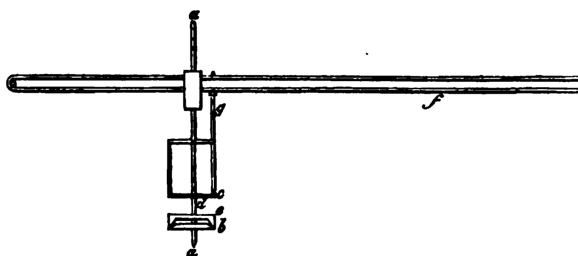
sinets *c c*, et est interrompu en *d* par une pièce de bois qui ne permet pas à la chaleur dégagée de se perdre par conductibilité.

La figure représente aussi le vase de cuivre dans lequel l'appareil de rotation est solidement fixé; il a un couvercle de cuivre dont le bord garni d'une bande de cuir imprégnée de blanc de plomb, peut être hermétiquement assemblé avec lui. Dans ce couvercle sont percés deux trous, le premier pour l'axe qui tourne sans le toucher, le second pour le passage du thermomètre.


Fig. 2.

J'ai employé un appareil semblable pour étudier le frottement du mercure. Il diffère de l'appareil qui vient d'être décrit par la grandeur et le nombre de palettes, qui sont au nombre de six et en fer; le vase est en fonte.

Étant désireux d'étendre mes expériences au frottement des solides, j'ai aussi établi l'appareil représenté figure 3, dans lequel l'axe *a a* entraîne dans son mouvement une roue en fonte *b*, taillée en biseau sur ses bords. Par le moyen du levier *c*, que


Fig. 3.

l'axe traverse et de deux courts leviers *d*, la roue à biseau *e* peut être appliquée sur la roue tournante. La pression est réglée à la main, à l'aide du levier de bois *f*, attaché à la verge de fer perpendiculaire *g*.

La figure 1 montre en perspective le mécanisme employé pour mettre l'appareil de frottement en mouvement. *a*, *a* sont des pou-

lies de bois de 1 pied de diamètre et 2 pouces d'épaisseur, portant des rouleaux de bois *b b* de 2 pouces de diamètre et des axes d'acier *c c*, d'un quart de pouce de diamètre. Les poulies tournaient bien rond et étaient égales. Leurs axes étaient supportés par des roues de laiton *d d d d* dont les axes d'acier reposaient dans des trous percés dans des plaques de laiton attachées à une solide charpente fixée aux murailles de la salle. (Celle-ci était une vaste cave, ayant l'avantage de posséder toujours une température uniforme.)

Les poids de plomb *e e*, qui dans quelques expériences pesaient 29 liv. et dans d'autres 10 liv. sont suspendus par une corde aux rouleaux *bb*, et une ficelle attachée aux poulies *aa* les réunit avec le rouleau *f*, lequel, par le moyen d'une clavette, peut facilement être attaché ou séparé de l'axe de l'appareil à frottement.

Le support de bois *g*, sur lequel pose l'appareil, est creusé d'un grand nombre de rainures transversales, de telle sorte qu'un petit nombre de points du bois sont en contact avec le métal, et que l'air le touche par presque tous les points. De cette manière on évite la communication de la chaleur au support.

Un large écran (non représenté sur la figure) empêchait complétement l'action de la chaleur rayonnante du corps de l'expérimentateur sur l'appareil.

La méthode d'expérimenter était la suivante. — La température de l'appareil à frottement étant bien déterminée, et les poids étant remontés, le rouleau était assemblé avec l'axe à l'aide d'une broche, et la hauteur exacte des poids au-dessus du sol étant mesurée exactement au moyen des règles en bois *k k*. Le rouleau était remis en liberté et permettait de relever les poids après qu'ils avaient atteint le plancher du laboratoire, lorsqu'ils avaient accompli une chute d'environ 63 pouces (1^m.60). Puis, le rouleau étant arrêté, les poids remontés, le frottement recommençait. Cette opération était répétée 20 fois, et on observait alors la température de l'appareil. La température moyenne du laboratoire était déterminée par des observations faites au commencement, au milieu et à la fin de chaque expérience.

Avant ou immédiatement après chaque expérience, on déterminait l'effet de rayonnement et de conductibilité pour la chaleur de l'atmosphère ambiante, pour diminuer ou augmenter la température de l'appareil à frottement. A cet effet, on suivait pen-

dant un temps égal à la durée de l'expérience la marche du thermomètre plongé dans l'eau, l'appareil restant immobile; on appréciait ainsi l'effet du rayonnement. La disposition de l'appareil, la quantité d'eau qu'il renfermait, la durée, la méthode d'observation des thermomètres, la position de l'expérimentateur, ont été les mêmes dans toutes les expériences dans lesquelles l'effet du frottement a été observé.

1re *Série d'expériences.* — Frottement de l'eau. — Les poids de plomb pesaient 203,066 grs. et 203,086 grs. (13,158 gr. 27

Numéros de l'expérience et causes du changement de température.	Chute totale des poids en pouces.	Température moyenne de l'air.	Différence entre la moyenne des colonnes 5 et 6 et la colonne 3.	Température de l'appareil. Commencement de l'expérience.	Température de l'appareil. Fin de l'expérience.	Gain ou perte de chaleur pendant l'expérience.
1 Frottement . .	1256,96	57°,698	2°,252 —	55°,118	55°,774	0°,656 gain.
1 Rayonnement.		57 ,868	2 ,040 —	55 ,774	55 ,882	0 ,108 gain.
2 Frottement . .	1255,16	58 ,085	1 ,875 —	55 ,882	56 ,539	0 ,657 gain.
2 Rayonnement.	0	58 ,370	1 ,789 —	56 ,539	56 ,624	0 ,085 gain.
. . . .	. . . . . .	. . . . . .	. . . .	. . . . .	. . . . .	. . . .
10 Frottement . .	1257,96	54 ,985	0 ,085 —	54 ,620	55 ,180	0 ,560 gain.
10 Rayonnement.	0	54 ,941	0 ,324 —	54 ,614	54 ,620	0 ,006 gain.
. . . .	. . . . . .	. . . . . .	. . . .	. . . . .	. . . . .	. . . .
20 Frottement . .	1261,94	60 ,611	1 ,239 —	59 ,060	59 ,685	0 ,625 gain.
20 Rayonnement.	0	60 ,567	1 ,542 —	58 ,990	59 ,060	0 ,070 gain.
21 Frottement . .	1264,07	58 ,654	0 ,321 —	58 ,050	58 ,616	0 ,566 gain.
21 Rayonnement.	0	58 ,627	0 ,018 —	58 ,616	58 ,603	0 ,013 perte.
. . . .	. . . . . .	. . . . . .	. . . .	. . . . .	. . . . .	. . . .
30 Frottement . .	1263,99	60 ,048	1 ,223 —	58 ,515	59 ,135	0 ,620 gain.
30 Rayonnement.	0	59 ,770	1 ,286 —	58 ,454	58 ,515	0 ,061 gain.
. . . .	. . . . . .	. . . . . .	. . . .	. . . . .	. . . . .	. . . .
40 Frottement . .	1262,99	56 ,108	0 ,100 +	55 ,929	56 ,488	0 ,559 gain.
40 Rayonnement.	0	56 ,454	0 ,036 +	56 ,488	56 ,492	0 ,004 gain.
Frottement moyen. . . .	1260,248	. . . .	0,305075—	. . . . . .	. . . . . .	0 ,575250 gain.
Rayonnement moyen. . .	0	. . . .	0,322950—	. . . . . .	. . . . . .	0 ,012975 gain.
1	2	3	4	5	6	7

chacun[1]). La vitesse de descente des poids était par seconde de 2.42 pouces (61 mill.), la durée de chaque expérience de 35 minutes. Le thermomètre A servait à mesurer la température de l'eau, B celle de l'air.

Des diverses expériences[2] relatées dans le tableau précédent, dans lesquelles l'effet du rayonnement a été observé, on peut conclure que l'effet de la température de l'air environnant sur l'appareil, est pour chaque degré de différence entre la température moyenne de l'air et celle de l'appareil, 0°,04654. Par conséquent, puisque l'excès de la température de l'atmosphère sur celle de l'appareil est en moyenne 0°,32295 dans les expériences sur le rayonnement, et seulement 0,305075 en moyenne dans celles de frottement, on doit ajouter 0,000832 à la différence entre 0°,57525 et 0°,012975, et le résultat 0°,563107 est l'effet direct d'échauffement dû au frottement. On peut encore faire une petite correction à l'évaluation basée sur la température moyenne de l'appareil au commencement et à la fin de chaque expérience de frottement, prise comme mesure de la vraie température, ce qui n'est pas tout à fait exact, l'accroissement de température étant moins rapide vers la fin de l'expérience qu'au commencement. Pour tenir compte de cet effet, j'évalue la température moyenne de l'appareil de 0°,002184 plus élevée, ce qui diminue l'effet d'échauffement de l'atmosphère de 0°,000102. Ceci ajouté à 0°,563107 donne 0°,563209 comme le véritable accroissement moyen de température dû au frottement de l'eau [3].

Pour mesurer toute la chaleur dégagée, il est nécessaire de déterminer la capacité pour la chaleur, du vase de cuivre et des palettes de laiton. La première est facile à calculer, à l'aide de la

1. J'ai conservé dans cette traduction les mesures anglaises, et n'ai converti en mesures métriques que les principaux résultats définitifs. Je rappellerai ici la valeur de ces unités :

1 degré Fahrenheit = 5/9 de degré centigrade.
1 pied anglais = 12 pouces = 0m,30466.
1 livre avoir-du-poids = 16 onces = 7000 grains = 0k,45359.
1 livre-pied = 0,30469 × 0,45359 = 0,1382 kilog. mètre.

2. Il m'a semblé inutile de rapporter la totalité des 40 expériences, dont les résultats diffèrent fort peu et dont on conclut la moyenne rapportée ci-dessus.

3. L'accroissement de température est, comme on l'observera nécessairement, une quantité mixte, dépendant en partie du frottement de l'eau, en partie du

chaleur spécifique du cuivre donnée par M. Regnault. Ainsi la capacité de 25,541 grs. de cuivre × 0,09515 = la capacité de 2430,2 grs. d'eau. Une série de sept expériences très-soignées m'a donné pour la roue à palettes de laiton, 1783 grs. d'eau pour sa capacité en eau, après avoir fait les corrections voulues pour tenir compte de la chaleur dégagée par le contact de l'eau avec la surface du métal, etc. Mais eu égard à la valeur de ces corrections, s'élevant à un trentième de toute la capacité, j'ai préféré employer la loi de M. Regnault, à savoir : « *que la capacité des alliages métalliques est égale à la somme des capacités des métaux constituants.* » L'analyse du laiton de la roue à palettes a donné 3933 grs. de zinc et 14968 grs. de cuivre. D'où :

Cap. 14968 grs. cuivre × 0,09515 = Cap. 1424,2 grs. d'eau.
Cap. 3933 grs. zinc × 0,09555 = Cap. 375,8 grs. d'eau.

Capacité totale de la roue = Cap. 1800 grs. d'eau.

La capacité du couvercle destiné à éviter le contact de l'air et de l'eau, autant qu'il est possible, est égale à 10,3 grs. d'eau; la capacité du thermomètre n'a pas été estimée, parce qu'il était toujours amené à la température attendue avant l'immersion. La capacité entière de l'appareil s'évaluait donc ainsi qu'il suit :

Eau.	93229,7
Cuivre en eau.	2430,2
Laiton en eau.	1810,3
Total. . . .	97470,2

Par suite, la quantité totale de chaleur dégagée est mesurée par

frottement de l'axe de l'appareil sur son pivot *cc*. Cette dernière source de chaleur n'est pas égale à plus de $\frac{1}{80}$e de la première. Semblablement, d'ailleurs, dans les expériences sur le frottement des solides détaillées plus loin, les disques de fonte tournant dans le mercure, il est impossible d'éviter un très-faible frottement entre les molécules de ce liquide. Mais puisque l'on trouve que la quantité de chaleur dégagée est la même dans les deux cas, pour la dépense de la même quantité de travail, une petite quantité de chaleur produite par le frottement des liquides, ou bien dans l'autre cas, une petite quantité de chaleur provenant du frottement des solides, n'infirme en rien les résultats obtenus, en ne considérant la chaleur que comme due à une seule cause, — dans un cas seulement, au frottement des fluides, dans l'autre entièrement au frottement entre corps solides (A).

un accroissement de la température de 0°,563209 de 97,12 d'eau, ou en d'autres termes 1°(Fahr.) dans 7 liv., 842299 d'eau.

La mesure du travail appliqué à engendrer la chaleur peut être faite ainsi qu'il suit. Les poids élevés étaient de 406152, grs. dont il faut déduire les résistances dues au frottement des poulies et à la roideur des cordes, ce qui se faisait en agissant sur les deux poulies avec une ficelle s'enroulant sur un rouleau d'égal diamètre, employé seulement pour ces essais. Dans ces circonstances, le poids qu'il fallait ajouter d'un des côtés pour maintenir le même mouvement que précédemment, a été trouvé de 2955 grs. Le même résultat, dans la direction opposée, a été obtenu en ajoutant 3055 grs. de l'autre côté. Déduisant 168 grs. pour le frottement du rouleau sur ses pivots, de 3005, moyenne des nombres ci-dessus, on a 2837 grs. pour le total du frottement, qui, soustrait du poids total, laisse 403315 grs. pour le poids utile.

La vitesse avec laquelle les poids atteignent le sol, c'est-à-dire 2,42 pouces par seconde (61^{mm}.3), est équivalente à la chute d'une hauteur de 0,0076 pouce. Celle-ci multipliée par 20, nombre de fois que les poids ont été relevés dans chaque expérience, produit 0,152 pouce, quantité qui soustraite de 1260,248 laisse 1260,096 pour la hauteur moyenne corrigée, de la chute du poids.

Cette chute, pour la pression indiquée ci-dessus, représente un travail équivalant à 6050,186 liv. tombant d'un pied, et $0,8464 \times 20 = 16,928$ livres-pieds lui étant ajoutés, pour la force développée par l'élasticité de la corde, après que le poids a touché le sol, on a 6067,114 livres-pieds pour le travail moyen corrigé.

Par suite $\frac{6067,114}{7,832199} = 773,64$ livres-pieds (430,36 kilogrammètres pour 1° cent. et une calorie) est, d'après les expériences ci-dessus sur le frottement de l'eau, l'équivalent de l'échauffement de 1 liv. d'eau de 1° Fahr.

2e *Série d'expériences.* — FROTTEMENT DU MERCURE. — Le poids des blocs de plomb et de la corde est 203,026 grs., et 203,073 grs. La vitesse des poids descendants est de 2.43 pouces par seconde. La durée de chaque expérience est de 30 minutes. Le thermo-

mètre C donnait la température du mercure, B celle de l'air. Poids de l'appareil en fonte : 68,446 grs. Poids du mercure qu'il renferme : 428,292 grs.

NUMÉROS des expériences et causes des changements de température.	CHUTE TOTALE des poids en pouces.	TEMPÉRATURE moyenne de l'air.	DIFFÉRENCE entre les moyennes des colonnes 5 et 6 et la colonne 3.	TEMPÉRATURE de l'appareil. Commencement de l'expérience.	Fin de l'expérience.	GAIN ou PERTE de chaleur pendant l'expérience.
1 Frottement . .	1265,42	58°,491	1°,452 +	58°,780	61°,107	2°,327 gain. .
1 Rayonnement.		58 ,939	2 ,056 +	61 ,107	60 ,884	0 ,223 perte.
2 Frottement . .	1265,77	58 ,949	0 ,467 +	58 ,188	60 ,644	2 ,456 gain. .
2 Rayonnement.		58 ,390	0 ,237 −	58 ,119	58 ,188	0 ,069 gain. .
3 Frottement . .	1265,73	57 ,322	1 ,203 +	57 ,325	59 ,725	2 ,400 gain. .
3 Rayonnement.		57 ,942	1 ,678 +	59 ,725	59 ,315	0 ,210 perte. .
. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . . . .	. . . . . .	. . . .
10 Frottement . .	1255,33	60 ,725	0 ,764 +	60 ,266	62 ,713	2 ,447 gain. .
10 Rayonnement.		61 ,340	1 ,313 +	62 ,713	62 ,593	0 ,120 perte. .
. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . . . .	. . . . . .	. . . .
20 Frottement . .	1257,731	49 ,397	0 ,597 +	48 ,773	51 ,216	2 ,443 gain. .
20 Rayonnement.		48 ,878	0 ,148 −	48 ,687	48 ,773	0 ,086 gain. .
Frottement moyen. . . .	1262,731	. . . .	0 ,8836 +	. . . . . .	. . . . . .	2 ,41395 gain.
Rayonnement moyen . . .		. . . .	0 ,8279 +	. . . . . .	. . . . . .	0 ,06570 perte.
1	2	3	4	5	6	7

Du tableau précédent on déduit l'effet de chaque degré de différence entre la température du laboratoire et celle de l'appareil. Par suite, 2°.41395 + 0°.0657 + 0°.007654 = 2°.487.304 est l'accroissement de température dans les expériences. La correction faite en partant de la température moyenne de l'appareil est insuffisante en ce que celle-ci a été en réalité de 0°.028484 plus élevée que celle indiquée sur la table; il faut donc ajouter 0°.003914 au dernier résultat, ce qui donne 2°.491218 pour le véritable effet thermométrique du frottement du mercure.

Maintenant, pour obtenir la quantité absolue de chaleur dégagée, il faut déterminer la capacité pour la chaleur de tout l'appareil. A cet effet, il a été suspendu par un fil de fer à un levier

disposé de manière à le mouvoir facilement. Sa température est élevée d'environ 20° en le plaçant dans un bain d'air chaud ayant une température uniforme, pendant un quart d'heure, et pendant ce temps le thermomètre C, plongé dans le mercure, était observé. L'appareil fut alors immergé rapidement dans un vase de cuivre, contenant 141,826 grs. d'eau distillée, dont la température était observée à diverses reprises à l'aide du thermomètre A. L'eau était fréquemment agitée pendant cette expérience à l'aide d'un agitateur en cuivre, et on prenait toutes les précautions convenables pour que l'état de l'atmosphère environnant ne variât pas, et que la personne de l'expérimentateur n'agit pas par rayonnement. On a ainsi obtenu les résultats suivants.

	MOMENT de l'observation.	TEMPÉRATURE de l'eau.	TEMPÉRATURE de l'appareil.
Appareil dans le bain d'air......	0'	47°,705	70°,518
	5	47 ,705	70 ,492
	10	47 ,713	70 ,518
Moment de l'immersion.........	11		
Appareil plongé dans l'eau......	13 1/2	49 ,836	57 ,673
	16	50 ,493	52 ,641
	21	50 ,694	50 ,941
	26	50 ,690	50 ,778
	31	50 ,667	50 ,744
	36	50 ,636	50 ,709

En faisant la correction de la température de l'eau, d'après l'accroissement observé pendant les premières dix minutes de l'expérience, on trouve 47°.714 pour la température de l'eau au moment de l'immersion. L'enlèvement de l'appareil du bain d'air chaud, et son immersion dans l'eau, opération qui dure 10″, occasionnent un refroidissement (d'après des expériences préliminaires) de 0°.027. L'effet d'échauffement du bain d'air pendant les 50″ restantes (estimé d'après la loi d'accroissement de la température, d'après les observations entre 5′ et 10′) est de 0°.004. Ces corrections, appliquées à 70°.518, donnent 70°.495 pour la température de l'appareil au moment de l'immersion.

La température de l'appareil, après 26′, est de 50°.778, indiquant une perte de 19°.717. Celle de l'eau pour la même durée, corrigée de l'effet de perte dans l'air (déduit de l'observation du

refroidissement de 26′ à 36′), est de 50°.777, indiquant un gain de 3°.063.

Dix résultats obtenus par cette méthode sont réunis dans le tableau ci-après :

NUMÉROS.	TEMPÉRATURE DE L'EAU corrigée.		GAIN DE CHALEUR par l'eau.	TEMPÉRATURE CORRIGÉE de l'appareil.		PERTE DE CHALEUR de l'appareil.
	COMMENCEMENT de l'expérience.	FIN de l'expérience.		COMMENCEMENT de l'expérience.	FIN de l'expérience.	
1	47°,714	50°,777	3°,063	70°,495	50°,778	19°,717
2	48 ,127	51 ,113	2 ,986	70 ,518	51 ,147	19 ,371
....	....	....	....	....	....	....
10	47 ,693	50 ,801	3 ,1[illegible]8	70 ,878	50 ,821	20 ,057
....	....	....	....	....	....	....
20	47 ,170	50 ,317	3 ,1[illegible]	70 ,741	50 ,332	20 ,49
Moyennes....	....	....	3 ,1[illegible]15	....	....	20 ,300

Je ne considère pas ces expériences sur la capacité de l'appareil comme suffisantes si l'on ne mesure aussi la chaleur produite lorsque l'eau mouille la surface du vase de fer. Dans ce but, les essais suivants ont été faits par la méthode précédente, avec cette exception, qu'il a été inutile d'étendre les observations au delà de 26′.

NUMÉROS.	TEMPÉRATURE de l'eau corrigée.		GAIN ou perte de chaleur par l'eau.	TEMPÉRATURE de l'appareil corrigé.		GAIN ou perte de chaleur de l'appareil.
	Commencement de l'opération.	Fin de l'opération.		Commencement de l'expérience.	Fin de l'expérience.	
1	50°,558	50°,556	0°,002 perte..	50°,565	50°,589	0°,024 gain..
2	49 ,228	49 ,232	0 ,004 gain...	49 ,239	49 ,254	0 ,015 gain..
....	....	....	....	....	....	....
10	48 ,733	48 ,793	0, 060 gain...	49 ,498	49 ,112	0 ,386 perte.
....	....	....	....	....	....	....
20	46 ,266	46 ,158	0, 108 perte..	45 ,369	46 ,167	0 ,798 gain..
Moyennes..	....	....	0, 0016 perte..	....	....	0 ,03155 gain..

En ajoutant ces résultats à ceux de la dernière table, on obtient un gain de température de l'eau de 3°.13305, et une perte pour l'appareil de 20°.33155.

La capacité totale peut d'ailleurs être estimée ainsi qu'il suit :

Eau échauffée.	141826 grs.
15622 grs. de cuivre en eau.	1486
Thermomètre et agitateur comme eau. . . .	118
Total.	143430 grs.

Par suite, $\frac{3°13305}{20.33155} \times 143430 = 22102.27$ est la capacité de tout l'appareil.

L'addition de 21.41 (en raison de la capacité de 643 grs. de mercure, qui a été élevé par suite de l'expansion à 70°), et la soustraction de 52 grs. pour le fil de fer employé à suspendre l'appareil, donne 22071.68 grs. d'eau pour la capacité de l'appareil employé au frottement du mercure.

La température de 2°.491218 pour la capacité ci-dessus est équivalente à 1° pour 7.85505 livres d'eau; c'est la quantité moyenne absolue de chaleur dégagée par le frottement du mercure.

Les poids de plomb étaient de 406099 grs.; ôtant de ce nombre 2857 grs. pour le frottement des poulies, il reste 403242 grs. La hauteur moyenne dont ils tombent est de 1262.731 pouces, dont, soustrayant 0.152 pouces pour la vitesse de la chute, il reste 1262.579 pouces. Cette hauteur, combinée avec le poids ci-*dessus*, est équivalente à 6061.01 livres-pieds; ajoutant 16.929 *livres*-pieds pour l'élasticité de la corde, il vient 6077.939 livres-pieds pour la moyenne du travail employé dans ces expériences, et enfin $\frac{6077.939}{7,85505} = 773,762$ (430.92 kilog. mètr. pour 1 calorie) est la valeur de l'équivalent, déduite des expériences ci-dessus sur le frottement du mercure. Les séries suivantes sont faites avec le même appareil, en employant des poids moindres.

3e *Série d'expériences.* — FROTTEMENT DU MERCURE. — Les poids en plomb et la corde pesaient 68442 grs. et 68884 grs. La vitesse des chutes des poids était de 1.4 pouce par seconde. La durée

le l'expérience de 35 minutes. Le thermomètre C donnait la empérature du mercure, B donnait celle de l'air.

NUMÉRO de l'expérience et causes du changement de température.	CHUTE TOTALE des poids en pouces.	TEMPÉRATURE moyenne de l'air.	DIFFÉRENCE entre la moyenne des colonnes 5 et 6 et la colonne 3.	TEMPÉRATURE de l'appareil. Commencement de l'expérience.	Fin de l'expérience	GAIN OU PERTE de chaleur pendant l'expérience.
1 Frottement . .	1292,12	49°,539	0°,399 +	49°,507	50°,370	0°,863 gain. .
1 Rayonnement.		50 165,	0 ,226 +	50 ,370	50 ,413	0 ,043 gain. .
2 Frottement . .	1292,0	49 ,865	0 ,189 +	49 ,606	50 ,503	0 ,897 gain. .
2 Rayonnement.		50 ,363	0 ,159 +	50 ,503	50 ,542	0 ,039 gain. .
. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . . . .	. . . . . .	. . . .
10 Frottement . .	1293,95	51 ,197	0 ,180 +	50 ,907	51 ,847	0 ,910 gain. .
10 Rayonnement.		51 ,960	0 ,079 +	51 ,847	51 ,916	0 ,069 gain. .
11 Frottement . .	1292,80	50 ,577	0 ,652 +	50 ,801	51 ,651	0 ,850 gain. .
11 Rayonnement.		51 ,055	0 ,577 +	51 ,654	51 ,611	0 ,043 perte. .
20 Rayonnement		51 ,416	0 ,483 −	50 ,860	51 ,006	0 ,146 gain. .
20 Frottement . .	1293,25	52 ,057	0 ,551 −	51 ,006	52 ,006	1 ,000 gain. .
. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . . . .	. . . . . .	. . . .
30 Rayonnement.		50 ,251	0 ,422 −	49 ,765	49 ,894	0 ,129 gain. .
30 Frottement . .	1294,33	50 ,597	0 ,246 −	49 ,894	50 ,808	0 ,914 gain. .
Frottement moyen. . . .	1293,532	. . . .	0 ,743 +	. . . . . .	. . . . . .	0 ,9157 gain. .
Rayonnement moyen. . .		. . . .	0 ,48 +	. . . . . .	. . . . . .	0 ,0606 gain. .
1	2	3	4	5	6	7

L'effet de chaque degré de différence entre la température du aboratoire et celle de l'appareil étant 0°.18544, on a sensiblement °.9157 — 0.0606 + 0.000488 = 0°.855588, pour l'accroissement noyen de température dans les précédentes séries d'expériences. La correction devant être pour la température moyenne du mercure qui est de 0.013222 plus élevée que ne l'indique la table, il aut ajouter 0°.002452 au résultat précédent, ce qui donne °.85804 pour l'effet thermométrique exact. Celui-ci, pour la capacité de 22071 grs. d'eau, est égal à 1° pour 2.70548 livres d'eau.

Les poids s'élèvent à 137326 grs., desquels 1040 grs. doivent être soustraits pour le frottement des poulies, ce qui réduit à

136286 grs, le poids corrigé. La hauteur moyenne de la chute est de 1293.532 pouces, dont, soustrayant 0.047 pour la vitesse avec laquelle les poids rencontrent le sol, il reste 1293.485 pouces. Cette chute, combinée avec le poids corrigé, donne 2098.618 liv.-pieds, lesquelles, avec 1.654 livres-pieds, mesurant la force développée par l'élasticité de la corde, donne 2100.272 livres-pieds pour la force moyenne employée dans les expériences.

$$\frac{2100.272}{2.70548} = 773.303$$ (432.40 kilog. mèt. par calorie) est donc l'équivalent déduit des expériences précédentes sur le frottement du mercure, en employant de faibles poids.

4e *Série d'expériences.* — FROTTEMENT DE LA FONTE. — Poids de l'appareil en fonte : 44000 grs. Poids du mercure qu'il contient : 204355 grs. (13k15827). Poids en plomb et corde, 203026 grs., et 203073 grs. Vitesse moyenne de la chute des poids : 3.12 pouces par seconde. Durée de chaque expérience : 38 minutes. Thermomètre pour déterminer la température du mercure C, celle de l'air A.

NUMÉRO de l'expérience et causes du changement de temperature.	CHUTE TOTALE des poids en pouces.	TEMPÉRATURE moyenne de l'air.	DIFFÉRENCE entre la moyenne des colonnes 5 et 6 et la colonne 3.	TEMPÉRATURE de l'appareil. Commencement de l'expérience.	TEMPÉRATURE de l'appareil. Fin de l'expérience.	GAIN ou PERTE de chaleur pendant l'expérience.
1 Frottement..	1257,90	46°,362	2°,544 +	46°,837	50°,976	4°,139 gain.
1 Rayonnement.		46 ,648	3 ,950 +	50 ,976	50 ,220	0 ,756 perte.
2 Rayonnement.		47 ,296	0 ,455 —	46 ,730	46 ,953	0 ,223 gain.
2 Frottement..	1258,97	47 ,891	1 ,247 +	46 ,953	51 ,323	4 ,370 gain.
....	....	....	....	......	......	....
5 Rayonnement.		48 ,323	0 ,248 —	48 ,009	48 ,142	0 ,133 gain.
5 Frottement..	1260,15	48 ,833	1 ,494 +	48 ,142	52 ,513	4 ,371 gain.
....	....	....	....	......	......	....
10 Rayonnement.		48 ,439	0 ,821 +	49 ,271	49 ,250	0 ,021 perte.
10 Frottement..	1258,70	49 ,690	2 ,882 +	49 ,877	54 ,067	4 ,190 gain.
Frottement moyen....	1260,027	....	1 ,7989	......	......	4 ,303 gain.
Rayonnement moyen..		....	1 ,6003	......	......	0 ,2096 perte.
1	2	3	4	5	6	7

De ce tableau il résulte que l'on a un effet thermométrique le 0°.20101 pour chaque degré de différence entre la température lu laboratoire et celle de l'appareil. Par suite, 4°.303+0.2096 +0.03992=4°.55252 est la moyenne de l'accroissement de tem- ›érature.

La capacité de l'appareil a été obtenue par des expériences aites absolument de la même manière qu'il a été dit pour l'appa- eil servant à étudier le frottement du mercure. Les résultats en ont renfermés dans le tableau suivant :

NUMÉROS des expériences.	TEMPÉRATURE de l'eau corrigée.		GAIN de chaleur par l'eau.	TEMPÉRATURE de l'appareil corrigée.		PERTE de chaleur de l'appareil.
	Commencement de l'expérience.	Fin de l'expérience.		Commencement de l'expérience.	Fin de l'expérience.	
1	45°,535	47°,305	1°,770	71°,112	47°,421	23°,691
2	46 ,216	47 ,937	1 ,727	71 ,292	48 ,073	23 ,219
....	....	....	....	....	....	....
5	47 ,895	49 ,498	1 ,603	71 ,249	49 ,636	21 ,613
....	....	....	....	....	....	....
10	49 ,836	51 ,337	1 ,501	71 ,356	51 ,375	19 ,981
....	....	....	....	....	....	....
12	48 ,562	50 ,151	1 ,589	71 ,291	50 ,199	21 ,092
Moyennes....	....	....	1 ,60833	....	....	21 ,42275

En ajoutant 0°.00071, et 0°.0141, la perte et le gain résultant les expériences consignées dans le tableau de la page 679, on a es résultats moyens de 1°.60904 pour le gain de l'eau, et 21°.43685 ›our la perte de l'appareil. La capacité de l'appareil est :

Eau.	155824 grs.
Cuivre estimé en eau. .	1486
Thermomètre et agitateur.	118
Total.	157428 grs.

Par suite, $\frac{1,60904}{21,43685} \times 157428 = 11816.47$ est la capacité de l'ap- ›areil. En appliquant les deux corrections, l'une additive pour enir compte de l'absence, pendant l'expérience, de 300 grs. de nercure, l'autre soustractive, pour tenir compte de la capacité

du thermomètre C et du fil de fer de la suspension, on obtient 11796 grs. d'eau pour la capacité de l'appareil pendant les expériences.

L'échauffement de 4°.5678 pour cette quantité équivaut à 1° pour 7.69753 livres d'eau; c'est la quantité absolue moyenne de chaleur dégagée par le frottement de la fonte de fer.

Les poids du plomb étaient de 406099 grs.; soustrayant 2857 grs pour le frottement des poulies, il reste 403242 grs. pour la pression agissant pour faire mouvoir l'appareil.

Le frottement étant proportionnel à la vitesse, il importe que le levier qui règle la pression soit maintenu de telle sorte que les poids descendent jusqu'au sol avec une vitesse uniforme et modérée. Mais, quoique la vitesse moyenne soit de 3.12 pouces par seconde, la force avec laquelle le poids touche le sol ne peut être évaluée exactement au moyen de cette vitesse, comme dans le cas du frottement des liquides. Toutefois, on a trouvé que le bruit du choc était le même que celui produit en laissant tomber les poids de 1/8ᵉ de pouce. Il est généralement arrivé d'ailleurs qu'en portant ses soins à régler le mouvement, les poids rencontraient le sol presque sans vitesse. Cela est arrivé généralement une fois, quelquefois deux dans chaque série, et j'ai estimé que la force alors perdue était égale à celle perdue lors du choc avec le sol. Prenant pour la perte totale 1/4 de pouce pour chaque chute, on a 20 fois cette quantité, ou 5 pouces pour la perte entière, qui, soustraite de 1260,027, laisse 1255.027 pouces pour la hauteur corrigée, le long de laquelle le poids de 403242 grs. a travaillé. Ces nombres sont égaux à 6024.757 livres-pieds, et en ajoutant 16.464 livres-pieds pour l'effet de l'élasticité de la corde, on a 6041.221 livres-pieds pour le travail consommé dans les expériences.

Cette force n'est pas toutefois entièrement employée à engendrer de la chaleur dans l'appareil. En effet, le frottement d'un corps solide, comme la fonte de fer, produit une vibration considérable du bâti sur lequel l'appareil est placé, et il en résulte un bruit considérable. J'ai évalué la consommation de travail due à cette vibration à 10.266 livres-pieds. La force nécessaire pour faire vibrer une corde de violoncelle de manière à produire un son qui pouvait être entendu à la même distance que celui

résultant du frottement a été estimé par moi, avec le concours d'un autre observateur, à 50 livres-pieds[1].

Ces nombres, soustraits du résultat précédent, laissent 5980.955 livres-pieds pour la force convertie en chaleur, et par suite :

$\frac{5980.955}{7.69753} = 776,997$ (432.78 kilog. mèt. par calorie) est l'équivalent déduit des expériences ci-dessus sur le frottement de la fonte. Les séries suivantes ont été faites avec le même appareil, en employant seulement des poids moindres.

5° *Série d'expériences.* — FROTTEMENT DE LA FONTE. — Les poids de plomb étaient de 68442 grs., et 68884 grs. La vitesse moyenne de la chute, 1.9 pouce par seconde. La durée de chaque expérience, 30 minutes. Le thermomètre C donnait la température du mercure, A donnait celle du laboratoire.

NUMÉRO de l'expérience et causes du changement de température.	CHUTE TOTALE des poids en pouces.	TEMPÉRATURE moyenne de l'air.	DIFFÉRENCE entre la moyenne des colonnes 5 et 6 et la colonne 3.	TEMPÉRATURE de l'appareil. Commencement de l'expérience	Fin de l'expérience.	GAIN OU PERTE de chaleur pendant l'expérience.
1 Frottement..	1281,07	47°,404	0°,852 +	47°,494	49°,018	1°,524 gain.
1 Rayonnement.		48 ,003	0 ,998 +	49 ,018	48 ,984	0 ,034 perte.
....	......	....	....	......	......	....
5 Frottement..	1282,45	46 ,798	0 ,558 +	46 ,554	48 ,159	1 ,605 gain.
6 Frottement..	1281,29	47 ,296	1 ,571 +	48 ,159	49 ,576	1 ,417 gain.
5 Rayonnement.		47 ,535	1 ,929 +	49 ,576	49 ,353	0 ,223 perte.
6 Rayonnement.		47 ,651	1 ,607 +	49 ,353	49 ,164	0 ,189 perte.
....	....	....	....	......	......	....
10 Frottement..	1276,84	47 ,238	1 ,655 +	48 ,194	49 ,593	1 ,399 gain.
10 Rayonnement.		47 ,335	2 ,142 +	49 ,593	49 ,361	0 ,232 perte.
Frottement moyen....	1279,957	....	1 ,0138 +	......	......	1 ,5102 gain.
Rayonnement moyen..		....	0 ,764 +	......	......	0 ,0223 perte.
1	2	3	4	5	6	7

1. Il paraît fort douteux que de l'intensité des sons produits par des corps sonores de timbres différents, renforcés dans un cas par la juxta position de corps vibrants facilement, on puisse tirer avec quelque probabilité la mesure adoptée ici par M. Joule. C. L.

Ce tableau montre que l'effet de chaque degré de différence entre la température du laboratoire et celle de l'appareil est 0°.1591. Par suite, 1°.5102+0°.0223+0°.03974=1°.57224, est l'effet d'échauffement approché.

Une autre addition de 0°.00331 doit être faite, la moyenne température de l'appareil, étant en réalité de 0°.02084 plus élevée que ne l'indique le tableau, ce qui donne pour la valeur de l'accroissement réel de température 1°.5755, ou pour 11796.07 grs. d'eau, l'équivalent de 1° pour 2,65504 livres d'eau.

Les poids du plomb sont de 137326 grs., qui, 1040 grs. étant soustraits par le frottement des poulies, se réduisent à 136286 grs. La vitesse de descente, qui dans ce cas est beaucoup plus aisément régularisée que quand on emploie des poids plus lourds, est de 1.9 pouce par seconde.

Vingt chocs, avec cette vitesse, indiquent une perte de chute de 0.094 pouces, qui, soustraite de 1279.957, laisse 1279.863 pouces pour la hauteur corrigée dont les poids sont tombés.

Les poids et hauteur ci-dessus sont équivalents à 2076 livres-pieds, ce qui, par l'addition de 1.189 livres-pieds pour l'élasticité de la corde, donne 2077.706 livres-pieds pour le travail total dépensé. Les corrections pour les vibrations et le bruit (*déduites* des données obtenues dans les séries précédentes, dans l'hypothèse qu'elles sont proportionnelles au frottement qui les a produites) sont 3.47 et 16.9 livres-pieds. Ces quantités, soustraites du résultat précédent, laissent 2057.336 livres-pieds pour la quantité de force convertie en chaleur dans l'appareil.

$\frac{2057.336}{2.65404}=$ 774.88 liv.-pieds (431.66 kilog.-mètres pour une calorie) est l'équivalent déduit de cette dernière série d'expériences.

Le tableau ci-dessous contient les diverses valeurs des équivalents déduits des expériences qui viennent d'être décrites. Dans la 4° colonne, j'ai complété les résultats par la correction nécessaire pour les réduire au vide.

NUMÉROS DES SÉRIES.	MATIÈRES EMPLOYÉES.	ÉQUIVALENT dans l'air.	ÉQUIVALENT dans le vide.	MOYENNES.
1	Eau................	773,640	772,692	772,083
2	Mercure............	773,762	772,814	774,083
3	Mercure............	776,303	775,352	
4	Fonte de fer,.......	776,997	776,045	774,987
5	Fonte de fer........	774,880	773,930	

Il est bien probable que l'équivalent pour la fonte de fer est quelque peu accru par l'arrachement de particules de métal par le frottement, ce qui ne peut avoir lieu sans l'absorption d'une certaine quantité de travail pour surmonter l'attraction qui produit la cohésion. Mais comme cette quantité de matière arrachée est trop minime pour pouvoir être pesée, l'erreur provenant de cette source ne peut être de grande importance. Je considère 772.692, l'équivalent déduit du frottement de l'eau comme le plus correct, tant à cause du grand nombre d'expériences effectuées, que de la grande capacité de l'appareil pour la chaleur. Cependant comme, même dans le frottement des fluides, il est impossible d'éviter entièrement une vibration et la production d'un faible bruit, il est probable que ce nombre est un peu trop fort.

Je conclus, en considérant comme démontré par les expériences renfermées dans ce mémoire :

1° *Que la quantité de chaleur produite par le frottement des corps, solides ou liquides, est toujours proportionnelle à la quantité de travail dépensé*, et

2° *Que la quantité de chaleur capable d'augmenter de 1° Fahr. la température d'une livre d'eau (pesée dans le vide et prise vers 55 à 60°), exige, pour sa production, la dépense d'un travail mécanique représenté par la chute de 772 livres d'une hauteur d'un pied.*

Oak-Field, près Manchester, 4 juin 1849.

DEUXIÈME MÉMOIRE.

DES

CHANGEMENTS DE TEMPÉRATURE

PRODUITS PAR LA RARÉFACTION OU LA CONDENSATION DE L'AIR.

PAR J.-P. JOULE, Esq. [1].

Dans un mémoire que j'ai lu devant la Section de chimie de l'Association britannique à Cork, j'ai fait l'application de la belle découverte du Dr Faraday sur la magnéto-électricité à l'établissement du rapport qui existe entre la chaleur et les formes ordinaires du travail mécanique. J'y ai démontré expérimentalement que le travail employé à tourner la machine électro-magnétique était *converti en chaleur* dégagée par le passage des courants d'induction à travers les fils; et, d'un autre côté, que la puissance motrice d'un moteur électrique est obtenue par une dépense de chaleur due aux réactions chimiques de la pile qui la met en jeu. J'espère pouvoir bientôt communiquer quelques nouvelles et délicates expériences, propres à assurer ainsi la détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur, avec le soin que réclame l'importance du sujet. Mon but, en ce moment, est de décrire les recherches par lesquelles je crois y avoir réussi par une autre voie, en appliquant les principes de la nouvelle théorie aux changements de température provenant des variations de densité des corps gazeux, recherche d'un grand intérêt, aussi bien au point de vue pratique qu'au point de vue théorique, car elle est capitale pour la théorie de la machine à vapeur.

Le Dr Cullen et le Dr Carwin paraissent avoir observé les premiers que la température de l'air diminuait par sa raréfaction et augmentait par sa condensation. D'autres physiciens ont ensuite dirigé leur attention sur ce sujet. Mais c'est Dalton qui le premier a réussi à mesurer avec quelque soin le changement de température qui se produit dans ces circonstances. Par l'emploi

1. *Philosophical Magazine*, mai 1845.

d'une très-ingénieuse disposition, cet illustre physicien a reconnu qu'environ 50° de chaleur sont produits quand l'air est réduit par compression à moitié de son volume primitif; et que 50° sont absorbés par une raréfaction correspondante.

Il y a tout lieu de croire que ces résultats de Dalton sont très-rapprochés de la vérité, ayant été confirmés par les expériences du Dr Ure, exécutées avec un thermomètre Bréguet. Mais notre connaissance de la chaleur spécifique des fluides élastiques a un caractère trop incertain pour permettre de calculer ainsi la quantité absolue de chaleur dégagée ou absorbée. Je suis parvenu à écarter cette difficulté, en immergeant la pompe de compression et le réservoir d'air dans une grande quantité d'eau, de manière à transporter l'effet calorifique sur le corps qui sert d'unité de capacité pour la chaleur.

Mon appareil peut être compris par la vue de la fig. 4.

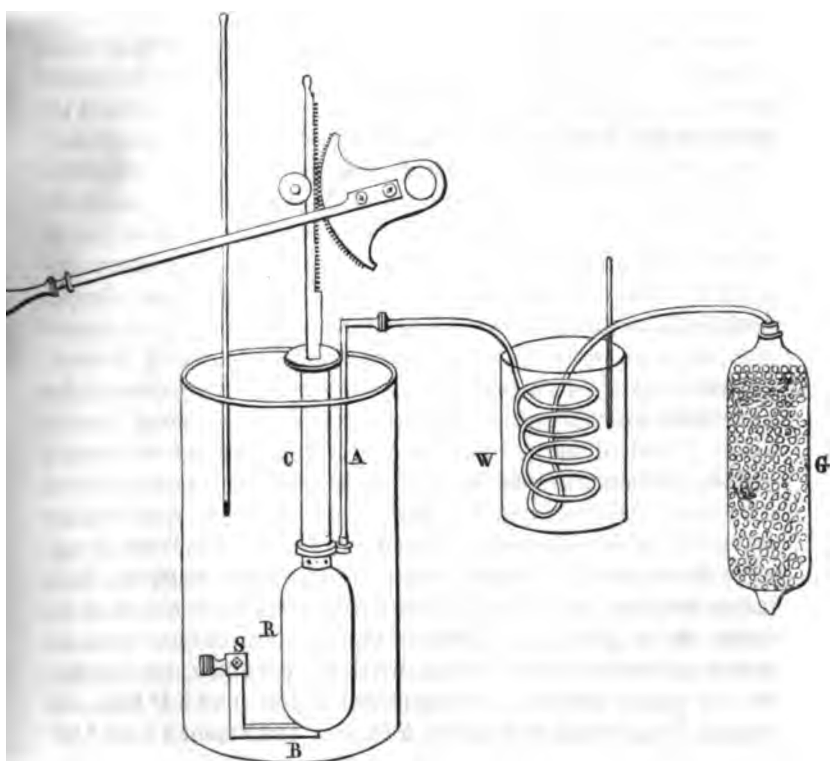


Fig. 4.

C représente la pompe de compression, formée d'un cylindre de bronze et d'un piston ajusté avec une garniture de cuir huilé, qui se meut facilement et légèrement pendant sa course de 8 pouces. Le cylindre a 10 1/2 pouces de longueur (27 centim.), 1 3/8 pouce de diamètre intérieur (35 millim.), et 1/4 de pouce d'épaisseur de métal. Le tuyau A, pour l'admission de l'air, est fixé à la partie inférieure du cylindre; au bas de ce tuyau il y a une soupape conique, construite en corne, s'ouvrant de haut en bas. Le réservoir de cuivre R, qui a 12 pouces de long, 4 1/2 p. de diamètre extérieur, 1/4 de pouce d'épaisseur, et une capacité de 136 1/2 pouces cubes (2236^{cm} cubes), peut être vissé sur la pompe. Le réservoir est muni d'une soupape conique s'ouvrant de haut en bas, et reçoit à son extrémité une pièce de laiton B, dans laquelle est pratiqué un canal de 1/8 de pouce de diamètre; elle est fermée par un robinet S, que je décrirai en détail dans la suite de ce mémoire.

Prévoyant que les changements de température de la grande quantité d'eau nécessaire pour entourer le réservoir et la pompe devaient être très-faibles, j'ai mis mes soins à m'assurer d'un thermomètre d'une grande sensibilité et d'une grande précision. Ayant choisi avec soin un tube de très-petit diamètre, on introduisit dans son intérieur une colonne de mercure de 1 pouce de longueur, et on la fit avancer successivement de manière que la fin de la colonne dans une position coïncidât avec le commencement de cette colonne dans la position antérieure. Dans chaque position la longueur de la colonne fut déterminée à $\frac{1}{4000}$ de pouce près, au moyen d'un instrument inventé à cet effet par M. Dancer. Ensuite le tube fut couvert d'une pellicule de cire, et chacun des intervalles précédemment mesurés fut divisé en vingt parties égales à l'aide d'une pointe d'acier conduite par une machine à diviser; divisions gravées ensuite sur le verre par une exposition à l'acide hydro-fluorique. L'échelle ainsi formée est entièrement arbitraire, et comme elle ne s'étend que de 30° à 90°, il est nécessaire de comparer ce thermomètre avec un autre construit de la même manière, mais dont l'échelle comprend les points fixes de fusion de la glace et d'ébullition de l'eau. On obtient ainsi un thermomètre tel que dix de ses divisions (occupant une étendue de 1/2 pouce environ) correspondent à peu près à 1° Fahr., et comme l'expérience m'a appris à évaluer facilement à l'œil 1/20

de ces divisions, je puis, avec cet instrument, déterminer les températures à 1/200 de degré près. Cette échelle étant arbitraire, les indications doivent être calculées, ce qui explique la présence de trois décimales dans les observations consignées dans les tableaux ci-après.

Il est important d'employer, pour renfermer l'eau, un récipient aussi imperméable à la chaleur qu'il est possible. Dans ce but, ayant pris deux vases de fer étamé dont l'un est de toutes parts moindre que l'autre, le plus petit a été placé dans le plus grand, et l'intervalle entre les deux clos hermétiquement. Par ce moyen une couche d'air, sensiblement à la même température que l'eau, est maintenue en contact avec le fond et le contour du vase intérieur. Les vases employés dans les autres expériences, que je décrirai ci-après, ont été construits d'une manière semblable. Parmi d'autres précautions propres à assurer le bon résultat des expériences, je citerai l'emploi d'écrans, convenablement disposés, entre les vases renfermant l'eau et l'expérimentateur.

Ma première expérience fut conduite de la manière suivante : la pompe et le réservoir de cuivre furent plongés dans 45 livres 3 onces d'eau, dans laquelle plongeait le thermomètre très-sensible décrit ci-dessus; deux autres thermomètres servaient à indiquer la température de la salle et celle de l'eau contenue dans le vase W. Ayant bien remué l'eau, sa température fut constatée avec soin. La pompe fut mise en jeu avec une vitesse modérée, pour comprimer jusqu'à 22 atmosphères environ, dans le réservoir en cuivre, l'air desséché par son passage à travers le vase G, garni de morceaux de chlorure de calcium. Après cette opération (qui durait de 15 à 20 minutes), l'eau était agitée pendant 5 minutes, afin que la chaleur se répartît bien dans toute la masse : on lisait alors la température.

L'accroissement de température qui était observé provenait en partie de la compression de l'air, et en partie du frottement de la pompe et du mouvement imprimé à l'eau. Pour apprécier ces dernières sources de chaleur, le tuyau d'arrivée de l'air A était fermé, et la pompe mise en jeu avec la même vitesse et pendant le même temps que précédemment; l'eau était de même agitée. On avait ainsi l'accroissement de température dû au frottement, etc.

TABLEAU I.

SOURCES DE CHALEUR.	NOMBRE DE COUPS de la pompe.	PRESSION barométrique.	QUANTITÉ d'air comprimé en pouces cubes.	TEMPÉRATURE de l'air admis.	TEMPÉRATURE moyenne de la salle.	DIFFÉRENCE entre les nombres de la colonne précédente et la moyenne des deux suivantes.	TEMPÉRATURE de l'eau. AVANT l'expérience.	TEMPÉRATURE de l'eau. APRÈS l'expérience.	CHALEUR GAGNÉE.
Condensation, etc.	300	30,06	3047	56°,2	57°,5	2°,224 —	54°,930	55°,622	0°,692
Frottement, etc.	300	......	......	......	57 ,5	1 ,685 —	55 ,652	55 ,979	0 ,327
Condensation, etc.	300	30,07	2924	54 ,8	53 ,5	0 ,817 +	53 ,970	54 ,664	0 ,694
Frottement, etc.	300	......	......	......	54 ,5	0 ,358 +	54 ,675	55 ,042	0 ,367
Condensation, etc.	300	30,24	2870	53 ,7	52 ,5	0 ,380 +	52 ,562	53 ,197	0 ,635
Frottement, etc.	300	......	......	......	52 ,6	0 ,760 +	53 ,197	53 ,524	0 ,327
Condensation, etc.	300	30,07	2939	58 ,8	57 ,5	1 ,794 —	55 ,359	56 ,053	0 ,694
Frottement, etc.	300	......	......	......	57 ,75	1 ,536 —	56 ,053	56 ,375	0 ,322
Condensation, etc.	300	30,34	2924	55 ,7	53 ,5	2 ,184 +	55 ,409	55 ,959	0 ,550
Frottement, etc.	300	......	......	......	53 ,75	2 ,316 +	55 ,962	56 ,170	0 ,208
Condensation, etc.	300	30,40	3033	58 ,1	60 ,0	0 ,174 +	59 ,876	60 ,472	0 ,596
Frottement, etc.	300	......	......	......	60 ,4	0 ,196 +	60 ,478	60 ,713	0 ,235
Condensation moyenne.	300	30,20	2956	56 ,2	......	0 ,078 —	......	......	0, 643
Frottement moyen.	300	......	......	......	......	0 ,068 +	......	......	0 ,297
Résultat corrigé.	......	30,20	2950	......	......	......	......	......	0 ,844

Écartant alors le vase, et le réservoir étant immergé dans une cuve pneumatique, la quantité d'air comprimé qu'il renfermait a été mesurée par la méthode ordinaire, et corrigée de la tension de la vapeur, etc. Le résultat, augmenté de 136,5 pouces cubes, quantité d'air que le réservoir renfermait à l'origine, donnait la quantité totale d'air comprimé.

Le résultat inscrit dans le tableau précédent est la différence entre les effets de condensation et de frottement seulement, corrigés de l'influence du réchauffement dû à l'atmosphère : il faut maintenant procéder à une autre correction, par suite de cette circonstance que le frottement du piston est considérablement plus grand pendant la compression que lors des expériences faites pour déterminer l'effet du frottement. Dans ce dernier cas, le piston travaille en faisant le vide sous lui, tandis que dans le premier le cuir est pressé contre le corps de pompe par la pression de l'air comprimé, c'est-à-dire d'environ 32 livres par pouce carré. Je me suis efforcé d'évaluer la différence entre le frottement dans les deux cas, en enlevant la soupape du réservoir, et faisant mouvoir le piston contre une pression d'environ 32 livres par pouce carré. Ces expériences alternées avec d'autres dans lesquelles le vide se produisait sous le piston, ont montré que la chaleur dans les deux cas était très-approximativement dans le rapport de six à cinq [1]. Quand la correction ainsi calculée est appliquée à 0°,297 (voir le tableau), et le résultat soustrait de 0°,643, on obtient 0°,285 pour l'effet de la compression de 2956 pouces cubes d'air sec à la pression de 30,2 pouces de mercure, dans un espace de 136,5 pouces cubes.

Cette chaleur est communiquée à 45 livres 3 onces d'eau, 20 1/2 livres de laiton et de cuivre, et 6 livres de fer étamé, ce qui revient à 13°,628 pour une livre avoir-du-poids d'eau.

Le travail consommé pour produire la condensation peut être facilement calculé par la loi de Boyle et Mariotte, dont les Académiciens français ont reconnu l'exactitude jusqu'à la pression de 25 atmosphères. Soit (*fig.* 5) un cylindre fermé par une extrémité, dont la longueur soit de 21,654 pieds et la

1. La pression de 32 livres n'existant dans les premières expériences qu'à la fin de la compression; cette correction paraît exagérée; elle varie nécessairement en tous cas avec l'état de la garniture du piston. C. L.

section de 11,376 pouces carrés. Un pied de ce cylindre a exactement la même capacité que le réservoir en cuivre employé dans les expériences, et sa capacité totale est de 2956 pouces cubes.

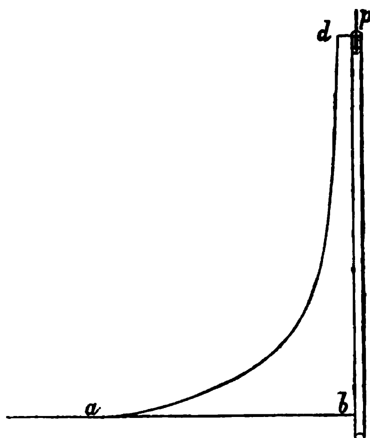


Fig. 5.

Il est évident par suite que la force employée à pomper (considérée indépendamment de la pression) est exactement égale à celle nécessaire pour pousser le piston p, depuis une course d'un pied jusqu'au fond du cylindre. Laissant de côté la pression de l'atmosphère, la force sous le piston quand il s'élève dans le cylindre, est, après un pied, de 168,5 livres, poids d'une colonne de mercure de 30,2 pouces de hauteur, et de 11,376 pouces carrés de section; et au fond elle sera 21,654 fois plus grande ou 3648,7 livres. L'aire hyperbolique $abcd$ peut, par suite, représenter la force employée dans la condensation, en y comprenant l'assistance de la pression atmosphérique. Appliquant la formule propre à la mesure des espaces hyperboliques, on a :

$$S = 3648,7 \times 2,302585 \times \log. 21,654 = 11220,2$$

La force dépensée pour la compression est donc équivalente à celle nécessaire pour élever verticalement à une hauteur d'un pied un poids de 11220,2 livres.

Comparant ce résultat avec la quantité de chaleur dégagée, on a :

$$\frac{11220,2}{13^{\circ}628,} = \frac{823}{1} \text{ (452 kil. mèt.)}$$

La force mécanique capable d'élever 823 livres à la hauteur d'un pied, employée à comprimer l'air, produit donc la quantité de chaleur qui accroît d'un degré Fahr. la température d'une livre d'eau.

Le tableau suivant contient les résultats d'expériences semblables aux précédentes, sauf que l'air y est moins comprimé.

TABLEAU II.

SOURCES de la chaleur.	NOMBRE DE COUPS de piston.	PRESSION barométrique.	QUANTITÉ D'AIR COMPRIMÉ en pouces cubes.	TEMPÉRATURE de l'air admis.	TEMPÉRATURE MOYENNE de la salle.	DIFFÉRENCE.	TEMPÉRATURE de l'eau. AVANT l'expérience.	APRÈS l'expérience.	CHALEUR GAGNÉE.
Condensation, etc.	120	30,40	1410	54°,0	54°,2	0°,010 +	54°,099	54°,322	0°,223
Frottement, etc..	120	.....	....	.....	54 ,6	0 ,224 —	54 ,332	54 ,421	0 ,089
Condensation, etc.	120	30,50	1467	56 ,6	56 ,5	0 ,308 +	56 ,693	56 ,923	0 ,230
Frottement, etc..	120	.....	....	.....	56 ,7	0 ,281 +	56 ,926	57 ,036	0 ,110
Condensation, etc.	120	30,57	1442	59 ,0	58 ,4	0 ,400 +	58 ,680	58 ,921	0 ,241
Frottement, etc..	120	.....	....	.....	58 ,5	0 ,477 +	58 ,921	59 ,033	0 ,112
Condensation, etc	120	30,50	1440	62 ,6	63 ,6	1 ,763 —	61 ,703	61 ,971	0 ,268
Frottement, etc..	120	.....	....	.....	64 ,0	1 ,960 —	61 ,976	62 ,105	0 ,129
Condensation, etc.	120	29,94	1405	55 ,2	57 ,0	1 ,566 —	55 ,310	55 ,558	0 ,248
Frottement, etc..	120	.....	....	.....	57 ,2	1 ,573 —	55 ,563	55 ,692	0 ,129
Condensation moy.	120	30,38	1433	57 ,5	.....	0 ,522 —	......	......	0 ,242
Frottement moyen.	120	.....	....	.....	.....	0 ,600 —	......	......	0 ,114
Résultat corrigé.	...	30,28	1433	.....	.....	....	......	......	0 ,128

Après avoir appliquée la correction convenable pour tenir compte de l'accroissement de frottement pendant la compression, et en ramenant le résultat, comme ci-dessus, à la capacité d'une livre d'eau, j'ai trouvé 5°,26 d'échauffement d'une livre d'eau pour la quantité moyenne de chaleur dégagée par la compression de l'air.

La force mécanique dépensée pour la compression est représentée en même temps par

$$S = 1779,3 \times 2,302585 \times \log.\ 10,498 = 4183,46.$$

Par suite l'équivalent d'un degré de chaleur par livre d'eau, déterminé par les séries ci-dessus, est égal à 795 livres élevées à la hauteur d'un pied (437 kilogrammètres).

Les valeurs de l'équivalent mécanique de la chaleur déduites de toutes les expériences que nous venons de décrire, sont si voisines de 838 livres, déduites d'expériences électro-magnétiques dans lesquelles *la chaleur latente* ne peut aucunement intervenir, qu'elles me paraissent prouver que la chaleur dégagée est simplement une manifestation, sous une autre forme, du travail mécanique dépensé dans l'acte de la compression. D'autres expériences que je vais décrire confirment cette manière de voir.

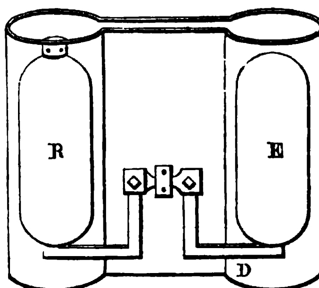


Fig. 6.

J'ai pris un second réservoir de cuivre E (*fig.* 6) d'une capacité de 134 pouces cubes. Comme le premier réservoir avec lequel il peut être réuni par un double écrou, il porte un appendice D dans lequel il y a un conduit de 1/8 de diamètre, qui peut être fermé par un robinet d'arrêt.

Je demande la permission de faire une courte digression pour expliquer la construction de ces robinets, qui peuvent être utiles aux personnes qui auront dans l'avenir à faire des expériences où l'on aura à agir sur de l'air à haute pression. Il est dû à M. Ash, mécanicien de cette ville, bien connu par son génie mécanique, et qui m'a mis à même fort obligeamment d'en donner une description complète. La figure 7 est une coupe de ce robinet, *a* est une vis de laiton, à l'aide de laquelle un épais collier de cuir *l* est fortement comprimé. Le centre de *a* est percé et fileté de manière à recevoir une vis d'acier *s* dont les filets pressent avec

ıssez de force le collier de cuir pour empêcher tout échappe-
nent d'air. L'extrémité de la vis d'acier est conique, et s'ap-
ılique sur un bouchon d'étain. Quand le robinet est fermé, l'ex-
rémité de la vis presse sur le métal doux et empêche la sortie
le la moindre particule d'air ; quand il est ouvert, comme le
nontre la figure, il livre passage à l'air autour de sa pointe co-
ıique. J'ai fait usage de ce robinet dans bien des cas, et il a tou-
ours parfaitement fonctionné.

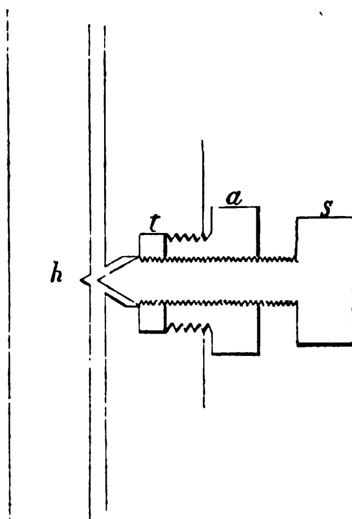


Fig. 7.

Ayant rempli le réservoir R (*fig.* 6) d'air sec comprimé jusqu'à environ 22 atmosphères, et ayant vidé le réservoir E par le moyen d'une machine pneumatique, je les ai vissés l'un à l'autre, et les ai placés dans un vase d'étain contenant 16 livres 1/2 d'eau. L'eau fut d'abord agitée, et la température prise avec le même thermomètre très-délicat employé dans les expériences précédentes. Les robinets furent alors ouverts avec leur clef, et l'air passant du réservoir plein dans le réservoir vide, l'équilibre s'établit entre les deux. Finalement, l'eau fut agitée et sa température notée avec soin. Le tableau suivant renferme les résultats de séries d'expériences ainsi faites, mélangées avec d'autres per-

mettant d'éliminer les effets d'agitation, évaporation et réchauffement, etc.

TABLEAU III.

NATURE de l'expérience.	PRESSION barométrique.	QUANTITÉ D'AIR comprimé dans le réservoir R en pouces cubes.	TEMPÉRATURE MOYENNE de la salle.	DIFFÉRENCE.	TEMPÉRATURE de l'eau. AVANT l'expérience.	APRÈS l'expérience.	GAIN ou perte de chaleur.
Expansion....	30,20	2910	57°,4	0°,118 +	57°,520	57°,517	0°,003 perte..
Interpolation..	.....	.....	57 ,0	0 ,906 —	56 ,085	56 ,103	0 ,018 gain ..
Expansion....	30,44	2920	57 ,0	0 ,885 —	56 ,103	56 ,128	0 ,025 gain...
Interpolation..	.....	.....	62 ,0	0 ,783 —	61 ,217	61 ,217	0
Expansion....	30,44	2910	62 ,1	0 ,873 —	61 ,222	61 ,232	0 ,010 gain...
Interpolation..	.....	.....	58 ,5	0 ,233 +	58 ,732	58 ,735	0 ,003 gain...
Expansion....	30,44	2915	58 ,6	0 ,132 +	58 ,732	58 ,732	0
Interpolation..	.....	.....	61 ,3	0 ,787 —	60 ,508	60 ,518	0 ,010 gain...
Expansion....	30,46	3200	61 ,3	0 ,780 —	60 ,518	60 ,523	0 ,005 gain...
Interpolation..	.....	.....	58 ,0	0 ,186 +	58 ,184	58 ,187	0 ,003 gain...
Expansion....	30,50	2880	58 ,3	0 ,110 —	58 ,190	58 ,190	0
Moyennes des exp. d'expans.	30,41	2956	.....	0 ,400 —	....	....	0 ,0062 gain...
Moyennes des interpolations	.....	.....	.....	0 ,411 —	....	....	0 ,0068 gain...
Résultat corrigé.	30,41	2956	.....	....	....	....	0

La différence entre les moyennes des expériences et celles des interpolations étant exactement semblable, on voit que le minime effet d'accroissement de chaleur est dû surtout à la température de la salle, et on arrive à cette conclusion importante: *Qu'il n'y a pas de changement de température quand l'air se dilate de manière à ne pas produire de travail mécanique*[1].

Pour bien analyser ces dernières expériences, j'ai renversé les réservoirs, et je les ai plongés, ainsi que la pièce d'assemblage, dans des réservoirs d'eau séparés (*fig.* 8). L'un des réservoirs con-

1. M. Regnault a repris ce point des expériences de M. Joule, et en a vérifié la parfaite exactitude. On remarquera que les erreurs qui peuvent y provenir du peu de sensibilié des thermomètres se compensent dans le mode d'opérer adopté.

tenait 2828 pouces cubes d'air sec comprimé, et l'autre était vide. Quand l'équilibre a été établi après l'ouverture des robinets, j'ai trouvé que 2°,36 de froid par livre d'eau ont été produits dans le réservoir dont l'air s'est dilaté, pendant que 2°,38 de chaleur ont été produits dans l'autre, et que 0°,31 de chaleur ont été aussi produits dans le vase dans lequel la pièce d'assemblage

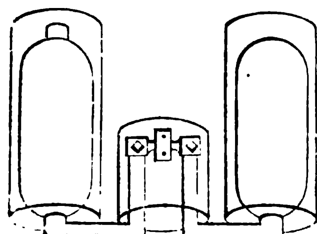


Fig. 8.

était plongée; la somme totale de l'effet calorifique étant très-voisine de zéro. Le petit excès de chaleur étant dû au réchauffement de l'air pendant qu'il se rend du réservoir plein au robinet, à travers le tuyau qui n'est pas plongé dans l'eau.

J'ai fait ensuite une série d'expériences de la manière suivante: — Le réservoir fut rempli d'air sec comprimé, et un serpentin en plomb de 1/4 de pouce de diamètre intérieur et de 12 yards de longueur fut vissé solidement sur l'extrémité, comme le représente la figure 9. Le tout fut plongé dans un vase ovale, cons-

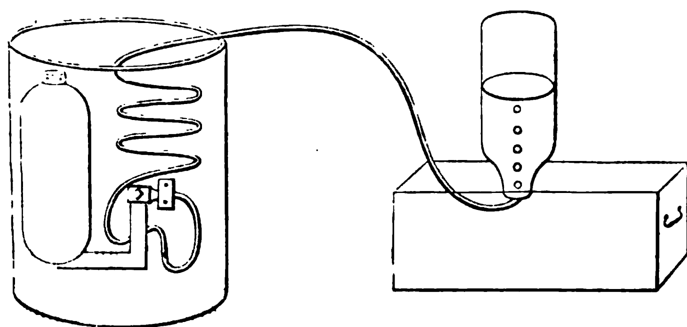


Fig. 9.

truit ainsi qu'il a été dit, et d'ailleurs fermé par un couvercle aussi parfaitement que possible. Ayant mesuré la température

de l'eau à l'aide du thermomètre très-sensible dont il a été parlé, le robinet a été ouvert; l'air passant du réservoir dans un vase placé sur une cuve pneumatique, y a été mesuré avec soin. Quand l'air dans le réservoir fut ramené à la pression atmosphérique, l'eau fut agitée avec soin et sa température observée. Une interpolation faite après chacune de ces expériences a pour but d'éliminer les effets d'agitation, etc.

TABLEAU IV.

NATURE de l'expérience.	PRESSION barométrique.	QUANTITÉ d'air comprimé.	QUANTITÉ d'air dégagé.	TEMPÉRATURE MOYENNE de la salle.	DIFFÉRENCE.	TEMPÉRATURE de l'eau. AVANT l'expérience.	APRÈS l'expérience.	GAIN ou perte de chaleur.
Expansion....	30,04	2862	2726	55°,7	0°,405 +	56°,207	56°,004	0°,203 perte.
Interpolation..	.....	....	....	55 ,4	0 ,579 +	56 ,004	55 ,954	0 ,050 perte.
Expansion....	30,10	2807	2670	54 ,6	0 ,022 +	54 ,714	54 ,530	0 ,184 perte.
Interpolation..	.....	....	....	54 ,25	0 ,276 +	54 ,536	54 ,516	0 ,020 perte.
Expansion....	30,10	2723	2587	53 ,6	0 ,760 +	54 ,460	54 ,259	0 ,201 perte.
Interpolation..	.....	....	....	53 ,4	0 ,839 +	54 ,259	54 ,219	0 ,040 perte.
Expansion....	30,10	2807	2670	49 ,05	0 ,307 +	49 ,456	49 ,258	0 ,198 perte.
Interpolation..	.....	....	....	49 ,1	0 ,158 +	49 ,258	49 ,258	0
Expansion....	30,23	3039	2903	50 ,6	0 ,508 —	50 ,176	50 ,008	0 ,168 perte.
Interpolation..	.....	....	....	51 ,1	1 ,063 —	50 ,017	50 ,057	0 ,140 gain.
Expansion....	30,20	2919	2782	49 ,0	0 ,355 —	48 ,728	48 ,563	0 ,165 perte.
Interpolation..	.....	....	....	48 ,85	0 ,277 —	48 ,573	48 ,573	0
Moyennes des exp. d'expans.	30,13	2859	2723	......	0 ,105 +	.. ....	....	0 ,1865 perte.
Moyennes des interpolations.	.....	.. .	....	......	0 ,185 +	....	....	0 ,0117 perte.
Résultat corrigé.	30,13	2859	2723	.....	....	....	....	0 ,1738 perte.

Le froid produit est réparti dans 21,17 livres d'eau, 14 livres de cuivre, 8 livres de plomb, et 7 livres de fer étamé. Par suite, la quantité de froid produite dans les expériences est suffisante pour diminuer la température d'une livre d'eau de 4°,085. Dans le même temps, la force mécanique qui a été développée est égale à l'élévation d'une colonne atmosphérique, d'un pouce carré

de base, à une hauteur de 2723 pouces; en d'autres termes, à 3352 livres élevées à la hauteur d'un pied. Chaque degré de chaleur perdue est donc engendré par une force suffisante pour élever 820 livres à la hauteur d'un pied.

Dans les deux séries d'expériences suivantes, on a varié les compressions et les quantités d'air dégagées.

TABLEAU V.

NATURE des expériences.	PRESSION barométrique.	QUANTITÉ d'air comprimé.	QUANTITÉ d'air dégagé.	TEMPÉRATURE MOYENNE de la salle.	DIFFÉRENCE.	TEMPÉRATURE de l'air. AVANT l'expérience.	APRÈS l'expérience.	GAIN ou perte de chaleur.
Expansion....	30,06	1336	1200	52°,5	1°,441 —	51°,074	51°,044	0°,030 perte.
Interpolation..	.....	....	....	55 ,55	1 ,460 —	51 ,069	51 ,110	0 ,041 gain.
Expansion....	30,20	1343	1206	53 ,50	1 ,385 —	52 ,125	52 ,105	0 ,020 perte.
Interpolation..	.....	....	....	53 ,6	1 ,457 —	52 ,115	52 ,171	0 ,056 gain.
Expansion....	30,28	1386	1250	52 ,4	0 ,419 —	52 ,021	51 ,941	0 ,080 perte.
Interpolation..	.....	....	....	52 ,55	0 ,588 —	51 ,951	51 ,974	0 ,023 gain.
Expansion....	30,28	1387	1250	52 ,95	0 ,778 —	52 ,195	52 ,148	0 ,047 perte.
Interpolation..	.....	....	....	53 ,2	1 ,017 —	52 ,171	52 ,195	0 ,024 gain.
Expansion....	30,30	1434	1298	59 ,0	0 ,610 +	59 ,665	59 ,556	0 ,109 perte.
Interpolation..	.....	....	....	58 ,65	0 ,888 +	59 ,551	59 ,526	0 ,025 perte.
Expansion....	30,27	1405	1268	55 ,35	0 ,227 +	55 ,622	55 ,532	0 ,090 perte.
Interpolation..	.....	....	....	55 ,1	0 ,534 +	55 ,647	55 ,622	0 ,025 perte.
Expansion....	30,14	1400	1264	55 ,2	0 ,313 +	55 ,565	55 ,461	0 ,104 perte.
Interpolation..	.....	....	....	55 ,3	0 ,158 +	55 ,461	55 ,456	0 ,005 perte.
Moyennes des exp. d'expans.	30,22	1384	1248	......	0 ,410 —	... ...	....	0 ,0686 perte.
Moyennes des interpolations.	.....	....	....	......	0 ,420 —	....	....	0 ,0127 gain.
Résultat corrigé.	30,22	1384	1248	......	....	....	....	0 ,081 perte.

En réduisant les résultats de ces expériences comme précédemment, on a, d'après les résultats du tableau V, 814 livres, et d'après ceux du tableau VI, ci-après, 760 livres élevées à un pied pour chaque degré perdu de chaleur d'une livre d'eau.

TABLEAU VI.

NATURE des expériences.	PRESSION barometrique.	QUANTITÉ d'air comprimé.	QUANTITÉ d'air dégagé.	TEMPÉRATURE MOYENNE de la salle.	DIFFÉRENCE.	TEMPÉRATURE de l'air AVANT l'expérience.	TEMPÉRATURE de l'air APRÈS l'expérience.	GAIN ou perte de chaleur.
Expansion....	30,24	3116	1238	60°,1	0°,418 —	59°,724	59°,641	0°,083 perte.
Interpolation..	.....	....	....	60 ,2	0 ,552 —	59 ,641	59 ,655	0 ,014 gain.
Expansion....	30,20	3198	1238	56 ,1	0 ,041 +	56 ,185	56 ,098	0 ,087 perte.
Interpolation..	.....	....	....	56 ,2	0 ,090 —	56 ,103	56 ,108	0 ,005 gain.
Expansion....	30,15	3192	1238	61 ,15	1 ,117 +	62 ,328	62 ,207	0 ,121 perte.
Interpolation..	.....	....	....	60 ,9	1 ,275 +	62 ,195	62 ,155	0 ,040 perte.
Expansion....	30,15	3143	1238	60 ,15	0 ,863 +	61 ,063	60 ,964	0 ,099 perte.
Interpolation..	.....	....	....	60 ,05	0 ,896 +	60 ,959	60 ,934	0 ,025 perte.
Expansion....	30,20	2966	1238	55 ,45	0 ,343 +	55 ,835	55 ,751	0 ,084 perte.
Interpolation..	.....	....	....	55 ,45	0 ,298 +	55 ,751	55 ,746	0 ,005 perte.
Expansion....	30,30	3160	1238	58 ,1	0 ,285 +	58 ,432	58 ,337	0 ,095 perte.
Interpolation..	.....	....	....	57 ,95	0 ,384 +	58 ,337	58 ,332	0 ,005 perte.
Expansion....	30,14	3188	1238	55 ,0	0 ,678 +	55 ,733	55 ,624	0 ,109 perte.
Interpolation..	.....	....	....	55 ,1	0 ,515 +	55 ,624	55 ,607	0 ,017 perte.
Moyennes des expansions...	30,20	3137	1238	......	0 ,416 +	....	....	0 ,0963 perte.
Moyennes des interpolations.	.....	....	....	......	0 ,389 +	....	....	0 ,0104 perte.
Résultat corrigé.	30,20	3137	1238	......	....	....	....	0 ,0555 perte.

Tous les résultats auxquels nous venons de parvenir sont inexplicables si la chaleur est une substance. S'il en était ainsi, la même quantité de chaleur qui a été absorbée par la raréfaction, d'après les expériences du tableau IV, serait bien dégagée par la compression dans les expériences du tableau I; mais nécessairement aussi une certaine quantité de froid aurait été produite dans les expériences consignées dans le tableau III. Ces résultats si nets sont au contraire conformes à ce qu'on peut déduire *à priori* de toute théorie dans laquelle la chaleur est regardée comme un état de mouvement des particules des corps. Il est facile de concevoir comment le travail mécanique dépensé dans la compression de l'air peut être communiqué à ses mo-

lécules, de manière à augmenter la rapidité de leur mouvement et produire ainsi le phénomène de l'accroissement de la température. Dans les expériences du tableau III, il n'y a pas de froid produit, parce que le *momentum* des molécules n'est pas converti d'une manière permanente en travail mécanique; mais si le mouvement de l'air d'un vase à l'autre pouvait faire naître un travail à leur surface, comme cela aurait lieu en employant un cylindre et un piston, alors il y aurait perte de chaleur, comme dans les tableaux IV, V et VI, quand la force est employée à soulever l'atmosphère de la terre.

Il est bien évident que la raison pour laquelle le froid indiqué par le thermomètre dans les expériences du tableau IV, est bien inférieur à la chaleur dégagée dans celles du tableau I, et que toute la force de l'air, outre celle employée à soulever l'atmosphère, est employée à surmonter la résistance du robinet de sortie, et est convertie là de nouveau en son équivalent de chaleur.

La découverte de Dulong que des volumes égaux de tous les fluides élastiques, pris à la même température et sous la même pression, dégagent ou absorbent la même quantité de chaleur, lorsqu'on les comprime ou qu'on les dilate subitement d'une même fraction de leur volume, s'accorde parfaitement avec ces principes.

Les équivalents mécaniques de la chaleur déterminés par les diverses séries d'expériences données dans ce Mémoire, sont: 823, 795, 820, 814 et 760. La moyenne des trois dernières, que je crois les moins sujettes à l'erreur, est 798 livres, résultat bien rapproché de 830 livres, valeur que j'ai déduite de mes expériences magnétiques; ce qui confirme d'une manière remarquable l'explication du phénomène indiqué dans ce Mémoire, et apporte, à mon sens, un nouvel et puissant argument en faveur de la théorie mécanique de la chaleur proposée par Bacon, Newton et Boyle, et appuyée dans ces derniers temps par les expériences de Rumford, Davy et Forbes.

Quant aux détails de cette théorie, il existe encore bien des incertitudes, beaucoup de points à élucider. La belle idée de Davy, que la chaleur des fluides élastiques dépend, en partie, du mouvement de leurs molécules autour de leurs axes, n'a pas, je pense, reçu encore l'attention qu'elle mérite. Je crois aussi

que beaucoup de phénomènes peuvent être expliqués à l'aide de la grande découverte de Faraday sur l'électro-chimie, à savoir, que chaque atome est associé avec une même quantité absolue d'électricité. Si l'on suppose que ces atmosphères d'électricité, douées en partie des propriétés de la matière, tournent avec une grande vitesse autour de leurs atomes respectifs, cette vitesse de rotation déterminera ce que nous appelons la température. Dans un fluide aériforme, on peut supposer que l'attraction des atmosphères pour leurs atomes respectifs et celle des atomes l'un vers l'autre, ne sont pas appréciables pour toutes les pressions pour lesquelles la loi de Boyle ou de Mariotte s'applique ; et par conséquent, la force centrifuge de ces atmosphères est la seule cause d'expansion ou de pression surmontée. Par cette manière de raisonner, la loi de Mariotte reçoit une explication simple, sans qu'il soit besoin de recourir à l'hypothèse improbable d'une répulsion variant dans un rapport différent de celui de l'inverse du carré. Les phénomènes décrits dans ce Mémoire, comme beaucoup de faits de thermo-chimie, s'accordent avec cette théorie ; et pour l'appliquer à la chaleur rayonnante, il suffit d'admettre que les atmosphères d'électricité en mouvement possèdent, à un degré plus ou moins grand selon les circonstances, le pouvoir d'exciter des ondulations isochrones de l'éther qui remplit l'espace.

Les principes que j'ai adoptés conduisent à une théorie de la machine à vapeur très-différente de celle généralement reçue, mais en même temps bien mieux d'accord avec les faits. C'est l'opinion de plusieurs physiciens que la puissance mécanique de la machine à vapeur provient simplement du passage de la chaleur d'un corps chaud à un corps froid, sans qu'il y ait nécessairement de chaleur perdue dans ce transport. Cette vue a été adoptée par M. Clapeyron dans un Mémoire célèbre. Ce savant rapporte, d'après Carnot, la puissance à la *force vive* développée par le calorique contenu dans la vapeur, dans son passage de la température de la chaudière à celle du condenseur. Je crois que cette théorie, tout ingénieuse qu'elle est, est opposée aux principes de philosophie reconnus, parce qu'elle conduit à cette conclusion que la *force vive* peut être détruite par une mauvaise disposition de l'appareil. Ainsi M. Clapeyron tire cette conclusion que : « la température du feu étant de 1000 ou

2000° (C) plus élevée que celle de la chaudière, il se produit une perte énorme de force vive au passage de la chaleur du fourneau à la chaudière. » Sachant que le pouvoir de détruire n'appartient qu'au Créateur seul, je suis tout à fait d'accord avec Roget et Faraday, que toute théorie qui conduit, comme conséquence, à une annulation du travail est nécessairement erronée. Les principes que j'ai avancés dans ce Mémoire sont à l'abri de cette difficulté. D'après eux, on établira que la vapeur en se dilatant dans le cylindre perd de la chaleur en quantité exactement proportionnelle à la force mécanique qu'elle a communiquée au moyen du piston, et que lors de la condensation de cette vapeur, la chaleur qui a été convertie en travail n'est plus retrouvée. Supposant qu'il n'y a pas de perte de chaleur par le rayonnement, cette théorie exige que la quantité de chaleur qui arrive au condenseur soit inférieure à celle que la chaudière a empruntée au fourneau d'une quantité exactement proportionnelle à l'équivalent mécanique du travail développé [1].

Je pourrais ajouter à ce Mémoire d'autres preuves de la vérité de ces vues, ayant pu faire quelques autres expériences dans ce but; mais je préfère réserver ce qui a trait à cette question, pour une future communication que j'espère faire prochainement à la Société royale [2].

Oak-Field, près Manchester, juin 1844.

1. On sait que M. Hirn a confirmé expérimentalement cette conséquence, en opérant sur une puissante machine à vapeur, mais en trouvant des valeurs de l'équivalent mécanique de la chaleur bien inférieure à 430 kilog. mèt.

2. M. Joule fait ici allusion au Mémoire que nous avons publié avant celui-ci.

DE L'EMPLOI DE L'OR

DANS LA DÉCORATION DES POTERIES.

PAR M. SALVÉTAT.

PREMIER MÉMOIRE.

La décoration des poteries fait actuellement une grande consommation d'or métallique dont l'éclat, la valeur intrinsèque et l'inaltérabilité concourent avec succès à l'ornementation des produits céramiques.

Il peut être intéressant de réunir dans cette Notice l'histoire de l'emploi de ce métal ; il est assurément très-curieux de suivre les différents progrès que l'on a faits successivement dans l'art de la dorure, et d'étudier les modes variés de préparation auxquels on a dû recourir avec le développement des sciences chimiques.

L'art de la dorure, appliqué, comme nous venons de le dire, à l'ornementation des produits céramiques, remonte à la plus haute antiquité. Nous ne le trouvons cependant employé qu'avec une très-grande réserve, et sur des pièces seulement exceptionnelles. Il est probable qu'à cette époque reculée, la rareté du métal et les difficultés inhérentes à sa purification et à sa préparation en faisaient une chose des plus rares. Le musée céramique de Sèvres possède quelques échantillons de poteries italogrecques sur lesquelles l'or est employé sur certaines parties avec un discernement tout artistique. Je signalerai entre autres un vase peint trouvé à Nola. Ce vase est étiqueté : Aa. 1 — N° 257. Il est orné de peintures blanches et violettes, sur fond noir avec reliefs rehaussés d'or ; c'est une poterie représentant des dames grecques ; l'or est placé sur leurs bracelets et dans leur coiffure ; il produit un effet très-riche.

Lorsque ces poteries, remarquables à plus d'un titre, eurent disparu, lorsque la fabrication s'en fut éteinte, la production des

poteries communes, qui seule lui survécut, ne pouvait faire durer l'emploi de l'or : aussi, pour en retrouver des traces, il faut remonter à l'époque bien plus récente à laquelle les faïences d'art ont fait leur apparition. La faïence émaillée elle-même fut longtemps cependant à recevoir de la dorure la richesse qu'elle lui dut beaucoup plus tard, et je ne saurais citer un seul exemple de faïence de Perse, ou d'origine arabe, ou d'époque hispanomauresque sur laquelle on puisse constater l'emploi de la dorure; il faut arriver au seizième siècle, en Italie, pour en voir l'usage s'introduire de nouveau dans l'ornementation des poteries. L'histoire a conservé le nom du peintre céramiste auquel on attribue cette heureuse innovation : J. Lanfranco, peintre de Pesaro, passe pour avoir été breveté par Guid'Ubaldo II, duc d'Urbino, en 1569. Le musée céramique de Sèvres possède un superbe plat de la manufacture de Castelli, dans le royaume de Naples, où l'or est artistement appliqué sur un sujet peint avec la verve de la meilleure école italienne. Le sujet représente un magnifique combat de cavalerie; les personnages sont rehaussés d'or d'un éclat admirable. Ce plat a été produit, sans contestation, au commencement du dix-septième siècle.

Lorsque la porcelaine dure, chinoise et japonaise, fut introduite en Europe, l'usage de l'or devint général pour orner les poteries; car les Orientaux s'en servaient dès la dynastie des Ming (quatorzième siècle); il n'est pas rare de trouver sur les anciennes faïences stannifères de Delft, fabriquées à l'instar des porcelaines de Chine et du Japon, des pièces dorées dans le goût du modèle. On peut voir au musée céramique de Sèvres une assiette en faïence japonée de Hollande aux armes de L. A. de Bourbon, comte de Toulouse, fils légitimé de Louis XIV, amiral de France. Cette fabrication nous rapproche du dix-huitième siècle, et nous pouvons dès lors voir l'usage de l'or se répandre de plus en plus et pénétrer dans toutes les fabrications artistiques. Les Allemands et les fabriques de Lorraine en étendent l'emploi même à des objets d'usage journalier. Le musée céramique de Sèvres possède des pièces de Höchst, près de Mayence, une soupière de Strasbourg, faïence de 1750, ornée de filets et de dessins en très-belle dorure, des assiettes et des verrières de Saint-Clément, près de Lunéville (même date), enfin des assiettes, également à filets d'or, de Niederviller (encore 1750).

Au dix-septième siècle, la poterie vernissée ne voulut pas non plus rester en arrière de la faïence décorative, et l'on faisait près d'Avignon une terre brune recouverte d'un vernis brillant sur lequel étaient peints des décors en dorure légère rappelant avec assez d'exactitude l'or chinois, non comme ornements artistiques, mais au point de vue de l'aspect et des qualités. M. Jacquinot-Godard conservait dans son cabinet une pièce portant les armes du pape en dorure identique à celle que possède le Musée de Sèvres et qu'il faut attribuer de même à la fabrication d'Avignon, c'est-à-dire au dix-septième siècle. Le fondant qui servait à fixer l'or n'était pas inaltérable, car les ornements ont presque entièrement disparu sur la pièce de Sèvres.

Les faïences fines anglaises du Staffordshire ont été dorées, et l'usage de l'or s'est étendu jusqu'à nos jours; mais c'est surtout à l'introduction de la porcelaine tendre ou dure qu'il faut attribuer le plus grand développement de l'art de la dorure.

Aussitôt que l'on sut en Allemagne fabriquer la porcelaine dure, aussitôt qu'on put faire en France et en Angleterre des poteries à pâte translucide, incolore, les porcelaines tendres qui ont porté si haut le goût du luxe, on vit la dorure devenir un accessoire obligé de toute pièce de porcelaine. La manufacture de Vienne excelle surtout dans un genre de dorure tout particulier, à reliefs fins et délicats, coûteux et, par cela seul, très-recherché, imitant en quelque sorte la ciselure. On le fait aujourd'hui parfaitement à la Manufacture de Sèvres.

La rareté de l'or n'a pas été la seule cause pour laquelle ce métal, malgré ses qualités précieuses, prit si lentement sa place dans l'art de la décoration céramique. Les moyens mécaniques dont on disposait pour le diviser, la difficulté de l'appliquer au pinceau furent certainement cause aussi de l'emploi restreint qu'on en fit dans l'origine; et il est remarquable de voir que les poteries antiques trouvées à Nola le présentent sous une épaisseur comparativement considérable. Comment cet or était-il appliqué? en poudre ou en feuillets plus ou moins minces? Quoiqu'il soit impossible de prouver cette opinion, je crois pouvoir admettre que les artistes grecs qui travaillaient aux arts céramiques en Italie ne se servaient pas d'or en poudre, non-seulement préparé par précipitation chimique, ce qui reste incontestable, mais même divisé par l'application de moyens mécaniques.

C'était cependant au moyen de l'or en poudre que Lanfranco et les peintres qui le suivirent décoraient leurs poteries en l'appliquant au pinceau, avec une délicatesse exquise et le fixant au feu.

OR DIVISÉ MÉCANIQUEMENT.

En Europe, comme dans les pays orientaux, Chine et Japon, l'usage de l'or en poudre divisé par voie mécanique se maintint pendant longtemps, et les archives de la Manufacture de Sèvres possèdent un manuscrit curieux de Hellot (1751) dans lequel ce savant chimiste décrit les procédés de dorure de la porcelaine sous le titre de *Secret de l'or*, « corrigé des fautes de la description de M. de Fulvy, d'après l'opération complète qu'en a faite en ma présence le frère Hypolithe (*sic*), bénédictin de Saint-Martin des Champs, le 16 juillet 1751. » Je transcris ce précieux document :

« *Préparation de l'eau gommée.* Choisissez de belle gomme arabique et la faites pulvériser et passer par le tamis de crin; mettez-en une livre dans une terrine vernissée, avec quantité suffisante d'eau chaude, pour en faire une eau gommée forte, de la liquidité lente et tenace d'un sirop de sucre bien cuit. Passez-la dans un linge pour en séparer l'écume et les saletés, puis versez-la dans un pot de faïence bien net pour vous en servir. Il faut environ une livre de cette gomme dissoute pour broyer deux onces d'or.

« *Déchet sur la préparation de l'or.* Ce broyement de deux onces d'or fin en feuilles très-déliées dure onze à douze heures pour qu'il soit réduit en poudre de la dernière finesse, au moins pour les trois quarts de cette quantité; car, de deux onces de feuilles d'or broyées, il reste ordinairement trois gros d'or grossier qui ne peut servir à dorer la porcelaine et que le batteur d'or reprend à 12 fr. le gros, ce qui fait 9 livres de perte sur les deux onces de feuilles qu'il a vendues 120 fr. l'once.

« Ne vous servez pas de gomme adragant, comme le dit M. de Fulvy, parce que les feuilles d'or s'y grumellent au lieu de se broyer.

« *Choix de l'écaille de mer et de la molette.* Ayez une écaille de mer véritable et du grain le plus fin, de 18, 20 à 22 pouces de longueur sur 15 à 16 pouces de largeur, bien unie, non usée

dans le milieu. Toute autre pierre dure à broyer, comme grès dur, marbre, etc., ne vaut rien, parce qu'elle s'use en broyant et communique à l'or des saletés qu'on ne peut enlever par le lavage. Ayez aussi une molette à peu près ovale, de cinq pouces de longueur sur quatre pouces de largeur, qui soit faite d'un caillou bien fin, sans gerçures, de caillou d'Angleterre ou de caillou de Rennes, et s'il est possible, d'un seul morceau, assez élevé pour qu'on puisse le tenir avec les deux mains ; sans quoi, il faudrait y mastiquer un manche de gayac ou de buis. Car il faut se servir de toute la force des deux bras, pour broyer les feuilles d'or sur l'écaille de mer, laquelle doit être bien assurée sur un gros billot de bois ou sur un bloc de pierre et bien calée avec des coussinets durs, afin qu'elle ne puisse pas vaciller pendant le broyement.

« *Couteau de baleine*. Ayez un long couteau de baleine, large de 12 ou 15 lignes ; faites-le scier par le milieu de la longueur, de cinq pouces, en forme de fourche dont les deux parties ne sont séparées que par un trait de scie ; il sert à bien détremper et mêler les feuilles d'or avec l'eau gommée avant de les broyer.

« *Manière de broyer l'or*. Tout étant préparé, mettez les deux onces d'or à la fois sur la table d'écaille de mer, que je nommerai dorénavant *pierre*. Versez dessus du sirop de gomme, et aplatissez le tas de feuilles d'or avec la fourche de baleine ; en brouillant çà et là les feuilles et ajoutant du sirop de gomme jusqu'à ce que vous les ayez réduites en consistance d'une espèce de pâte, mais un peu liquide : broyez alors avec la molette de caillou dont vous tiendrez la partie servant de manche avec les deux mains et que vous conduirez toujours en long devant vous ; levant de temps en temps le devant de la molette pour se servir de son bord opposé, à détacher l'or qui se colle quelquefois sur la pierre, et y forme des espèces de lames dures et brillantes. On rassemble aussi de temps en temps, en un seul tas, la pâte d'or liquide que la molette a écartée au bout de la pierre et sur les côtés pour la reprendre et broyer de nouveau avec cette molette : ce qu'on continue de faire jusqu'à la fin du broyement qui peut durer dix à douze heures, selon la force de celui qui broie. Quand la pâte devient trop tenace et trop rude à broyer, on y asperge de l'eau, soit avec une brosse de peintre, soit avec une éponge fine, l'une ou l'autre trempée dans l'eau nette. Lors-

que les feuilles d'or commencent à être bien broyées, on voit, dans le tas rassemblé de la pâte liquide, diverses nuances de couleur d'or, parmi lesquelles il y en a de blanches qui pourraient bien être l'argent de l'alliage.

« *Titre de l'or à 23 karats 26/32e*. Car, quoique les batteurs d'or prennent pour leur or fin de la chaux d'or achetée aux affinages, il y a dans cet or 6/32e de karat d'argent par marc. Ainsi pour avoir sur la porcelaine une dorure plus haute en couleur, il serait à propos de faire battre de l'or affiné par l'antimoine et adouci par le sublimé corrosif. Les diverses nuances dont je viens de parler paraissent sur un fond bien sali par le sirop de gomme. Quoiqu'on voye ces premières marques d'un broyement parfait, il faut broyer encore pendant une heure ou deux pour réduire les feuilles en une poudre la plus subtile qu'il soit possible. Les nuances se multiplient lorsque les feuilles sont suffisamment broyées.

« *Manière de dégommer l'or broyé*. Alors on verse un peu d'eau chaude, mais non bouillante, dans une casserole à queue de terre vernissée, neuve ou qui n'ait servi qu'à cet usage ; car il ne faut pas qu'elle ait la moindre impression de gras : on y place d'abord la molette pour en dissoudre l'or gommé qui s'est attaché à ses bords ; et on la lave avec l'éponge trempée dans l'eau chaude ; puis on l'ôte et on l'essuye ; après avoir nettoyé la molette dont on ne détache qu'un or grossier ou mal broyé, on lève la pâte coulante de l'or de dessus la pierre avec le couteau de peintre, et on la met dans l'eau chaude de la casserole, lavant ce couteau à chaque fois. Puis avec une éponge fine trempée dans l'eau froide, on lave exactement la pierre et l'on exprime l'éponge au-dessus de la casserole. On lave cette éponge deux ou trois fois avec de l'eau dont on l'imbibe pour en faire sortir tout l'or qu'elle pourrait avoir retenu.

« Après avoir rempli cette casserole d'eau chaude, on la place sur une table et on l'y laisse tranquille pour que l'or se précipite ; ce qu'il ne fait qu'à mesure que l'eau se refroidit. Tant qu'elle est chaude, on le voit s'agiter et circuler en ondulations qui changent à chaque instant. Au bout de dix ou douze heures, l'or est entièrement précipité. Alors on verse par inclination l'eau qui a dissous presque toute la gomme dans une terrine de grès, afin que si elle entraîne encore quelques parcelles d'or, elles

puissent s'y précipiter et qu'il n'y ait rien de perdu. Cette première eau est sale et noirâtre parce qu'elle emporte, outre la gomme, les saletés de cette matière, qui en conserve toujours, quoiqu'on ait passé le sirop de gomme par un linge. Cette casserole étant vidée, on voit l'or précipité qui en enduit le fond; il est encore de couleur obscure. On la remplit de nouvelle eau chaude non bouillante; l'or s'élève et reforme de nouvelles ondulations comme la première fois, mais beaucoup moins ternes: on laisse ce second lavage tranquille pendant cinq ou six heures, puis on décante l'eau dans la terrine de grès avec celle du premier lavage. On trouve la casserole enduite de l'or qui s'y est précipité presque net. On remplit la casserole d'eau chaude non bouillante pour la troisième fois; nouvelles ondulations de l'or où ce métal paraît dans sa couleur naturelle et se précipite beaucoup plus tôt que la première et la seconde fois. Ainsi on peut verser l'eau dans la terrine de grès aussitôt qu'elle est refroidie. Ces trois lavages suffisent, un quatrième fait monter l'or à la surface de l'eau, et alors il se précipite très-difficilement.

« Étant lavé trois fois, on verse de nouvelle eau chaude en petite quantité dans la casserole où l'or du troisième lavage est précipité; on agite et l'on verse cette eau où l'or nage dans un petit tamis de soie très-fin que l'on tient au-dessus d'une autre casserole plate ou tourtière de terre vernissée à trois pieds et ayant un manche et un bec à égoutter. On tient le petit tamis avec une bonne pince, et on le frappe à petits coups serrés pour faire passer l'or le plus fin ou plus délié à travers ce premier tamis le plus fin. Cet or le plus fin sert à peindre en or les broderies et à trancher les couleurs mises et déjà parfondues sur la porcelaine. Lorsqu'il ne passe plus d'or par ce premier tamis fin, on lave ce tamis avec de l'eau chaude sur la première casserole profonde, et comme cette eau a lavé le reste de l'or qui y était déposé on la verse avec l'or dans un second tamis moins fin que le premier qu'on tient de même au-dessus d'une autre tourtière large, plate, à manche et à bec avec une forte pince, pour n'être pas brûlé par l'eau chaude. Lorsque après avoir battu longtemps, il ne passe plus d'or avec l'eau, on lave ce second tamis avec de l'eau chaude sur la casserole profonde. L'or qui ne passe pas par le premier et le second tamis est trop gros pour dorer la porcelaine, on le joint avec celui du lavage de la molette, et l'ayant fait

sécher, on le rend au batteur d'or. Quant à celui qui a passé sur les deux tourtières, on l'y laisse refroidir et précipiter en repos : on verse ensuite l'eau par inclination et l'on met les deux terrines au soleil pour sécher cet or en été, ou sur les cendres chaudes en hiver; étant sec, on le met par gros dans des papiers étiquetés *or fin* ou *or gros*.

« Pour l'employer au pinceau, on mêle ensemble une partie d'eau et une partie du mordant de vinaigre, d'ail et d'oignon ci-après décrit. On dissout à part de la gomme dans de l'eau tiède à laquelle on ajoute un peu de mordant pour qu'elle se dissolve plus vite, et l'on ajoute au mélange précédent de mordant et d'eau pure autant qu'il faut de ce sirop de gomme arabique pour donner du corps ou du gluant à la liqueur, afin qu'en séchant sur la porcelaine, l'or y reste adhérent. Il n'en faut ni trop ni trop peu. Les peintres prennent un peu de la poudre d'or du paquet et la délayent sur une coquille de porcelaine faite à cet usage, avec suffisante quantité du mordant composé lorsqu'ils veulent l'employer avec le pinceau. On le laisse bien sécher avant de mettre la pièce dorée au feu de cuisson pour l'or dans les fours de peinture. Le degré de feu est moins fort que celui qui sert à parfondre les couleurs. Lorsque l'or est cuit, c'est-à-dire lorsque le dessous de sa couche est happé par la couverte que le feu a attendrie, il n'est plus a craindre que le frottement l'enlève. Cet or paraît alors d'un jaune terne; mais en le brunissant avec l'hématite, ou pierre sanguine, on lui rend son éclat naturel, lequel éclat augmente avec le temps; car il n'est jamais si haut de couleur lorsqu'il sort des mains du brunisseur qu'un mois après.

« On a alloué 30 sous par gros d'or au frère Hippolyte pour la préparation de celui qu'il livre en poudre sèche à la Manufacture, ce qui fait 12 fr. par once, outre les 3,000 qu'il a reçus et les 600 de rente viagère que les héritiers de M. de Fulvy sont tenus de lui payer annuellement pour le prix de son secret, M. de Fulvy ayant reçu de l'ancienne compagnie la somme de 9,000 livres pour cette convention.

« *Mordant du frère Hippolyte dont il est parlé ci-dessus*. Le vendredi 23 juillet 1751, j'ai fait et distillé ce mordant chez moi en présence de ce religieux. J'ai coupé en plusieurs petits morceaux cinq gros oignons blancs et cinq têtes d'ail; je les ai fait entrer dans une cornue de verre de Lorraine, de la capacité de deux

pintes et chopine : puis j'ai versé dans cette cornue une pinte de bon vinaigre blanc, non distillé, acheté chez un vinaigrier 20 sous la pinte : j'ai placé cette cornue sur une petite terrine remplie de sable bien sec que j'avais mise sur les deux barres d'un fourneau de réverbère que j'ai couvert de son chapiteau. J'ai adapté un moyen ballon de verre blanc au col de la cornue, lequel entrait de deux pouces dans le ventre de ce ballon, et j'en ai fermé les jointures avec du mastic de vitrier; laissant un petit trou pour le sifflement de l'air raréfié et pour prévenir la rupture des vaisseaux. J'ai fait un très-petit feu dans le fourneau à neuf heures et demie; à neuf heures trois quarts la distillation a commencé et a toujours continué à petit feu, de crainte d'une trop grande ébullition de la liqueur, jusqu'à cinq heures et demie, que j'ai laissé éteindre le feu pour ne pas faire monter l'huile fétide du mélange. La liqueur, qui était à midi clair et limpide, a perdu cette limpidité et est devenue d'une faible couleur de paille, parce qu'elle amenait avec elle une portion de l'humeur gluante de l'ail et de l'oignon ainsi que de leurs parties volatiles; de la pinte de vinaigre, j'ai eu un peu plus d'une pinte de mordant. »

Cet extrait du manuscrit de Hellot prouve surabondamment, par les détails dans lesquels il entre, qu'à la date du 16 *juillet* 1751 l'or employé pour peindre les porcelaines était divisé mécaniquement; s'il était possible de conserver un doute à cet égard, il serait bientôt détruit par la lecture d'un autre document non moins important qui reporte à l'année 1771, l'introduction de l'or précipité par voie chimique de ses dissolutions dans l'eau régale et l'abandon, partiel au moins, de la méthode du frère Hippolyte. C'est à Bailly, arcane de la Manufacture de Sèvres, qu'il faut attribuer le mérite de cette nouvelle méthode de préparer l'or.

Macquer, en effet, adresse à la direction de la Manufacture sur les travaux du sieur Bailly le rapport suivant, daté du 4 mai 1771.

« Le sieur Bailly s'est appliqué, à notre sollicitation, et en suivant les méthodes connues des chimistes que nous lui avons indiquées, à diviser l'or et l'argent par l'action des dissolvants et à tirer de leurs dissolutions des précipités très-fins et très-purs qu'on peut employer à la dorure de la porcelaine.

« Nous avions en vue d'éviter les frais d'une longue et pénible

trituration qu'exige la méthode du frère Hippolyte, indépendamment des déchets auxquels elle est sujette, et de la nécessité d'y employer l'or battu au lieu de l'or en masse ou en rubans, qui est beaucoup moins cher.

« L'or précipité de sa dissolution par l'eau régale a été appliqué sans difficulté par le sieur Bailly sur la porcelaine dure, mais ce n'est que par un tour de main qui lui est particulier qu'il a réussi à l'employer sur la porcelaine tendre, à le faire foisonner et à trouver dans cet emploi un bénéfice d'un trente-sixième et même plus. Il a trouvé aussi le moyen de broyer cet or pour le mettre en coquille avec un nouveau mordant qui donne aux dessinateurs la facilité de tracer sur les porcelaines les traits les plus fins et les plus précis avec toute la netteté possible. Les peines et les succès du sieur Bailly méritent d'être récompensés.

« On peut voir, par l'état de comparaison ci-joint des frais de la nouvelle dorure et de ceux de l'ancienne, combien ces nouveaux procédés peuvent être avantageux à la Manufacture de Sèvres; ils seront en même temps utiles au public, car nous pouvons assurer que cette dorure nouvelle est plus brillante et plus solide que celle où l'on emploie l'or trituré du frère Hippolyte.

« Nous croyons donc qu'il est très à propos d'autoriser les directeurs de la Manufacture de Sèvres :

« 1° A acheter désormais l'or en rubans ou en masses, qui coûte 100 à 101 fr. l'once, au lieu de l'or battu en feuilles, qui coûte 121 fr.;

« 2° A abandonner entièrement l'usage de l'or travaillé hors de la Manufacture par le frère Hippolyte;

« 3° A faire travailler l'or et l'argent dans la Manufacture par les dissolvants suivant les nouveaux procédés qui ont été par nous décrits à Sèvres le 2 mai présent mois, pour être conservés dans les registres de ladite Manufacture;

« 4° A confier tout le travail de la préparation de l'or et de l'argent par les dissolvants au sieur Bailly, en lui accordant un bénéfice par chaque once d'or, comme M. Boileau le propose dans le mémoire ci-joint qu'il nous a remis.

« Tel est notre avis, à Paris, le 4 mai 1771, et ont signé Macquer et de Montigny. »

Les comptes de la Manufacture pour 1769 portent encore le nom du frère Hyppolite, bien qu'il eût vendu son secret, pour

4,860 francs, à raison de 405 onces d'or préparé moyennant 12 fr. par once.

La Manufacture achetait son or chez une dame Clérisseau, qui figure sur les registres pour avoir reçu 49,005 francs. Mme Clérisseau reprenait l'or des déchets ; il lui en fut remis en 1769, 2 mars, 5 onces, qu'elle paya 2,016 francs.

A la suite de la note remise aux directeurs par Macquer et de Montigny, le frère Hippolyte cessa de fournir l'or en poudre, et depuis le deuxième semestre de 1771, il ne figure plus sur les livres que pour la pension qu'il touche au parc claustral de Saint-Martin des Champs.

Mais la dépense d'or continue toujours à être représentée par de l'or battu et par de l'or laminé ; on trouve dans le journal de caisse :

	Or battu.	Or laminé.	Total.
Pour 1776	28,728 fr.	15,912 fr.	44,620 fr.
1777	36,936	6,120	43,056
1778	»	»	37,448
1783	»	»	31,462
1784	»	»	38,075
1785	»	»	29,863
1786	»	»	30,528
1787	»	»	28,938
1788	»	»	32,382

A partir de 1778, la Manufacture battait elle-même l'or qu'elle voulait réduire en poudre par les procédés mécaniques, et on voit les frais de battage s'élever aux chiffres suivants :

En 1783	pour	2,808 fr.
1784	—	3,528
1785	—	3,240
1786	—	3,384
1787	—	3,336
1788	—	3,145

Ces chiffres ont leur éloquence ; ils témoignent de l'impulsion des travaux exécutés et du grand luxe qui avait envahi les classes élevées de la société française : il est curieux de les rap-

procher de ceux que fourniraient aujourd'hui les registres de la Manufacture de Sèvres. Or, pendant l'exercice

On a dépensé :

	Or battu.	Or laminé.	Or en coquille.	Ensemble.
1859	2,750 fr.	18,020 fr.	44 fr.	20,814 fr.
1860	2,700	14,980	40	17,720
1861	2,400	17,720	65	20,185

Depuis 1852 que la Manufacture de Sèvres a repris la fabrication de la porcelaine tendre, on a fait acquisition d'or en poudre: l'or employé sur la porcelaine dure était exclusivement de l'or précipité, par conséquent représenté par de l'or laminé.

Si Sèvres était, en France, à peu près le seul établissement qui façonnât, en 1780, des pièces riches, chargées de dorure, il n'en est plus de même aujourd'hui que la fabrication est répandue, et que Limoges, Paris, Sarreguemines, Bordeaux, font des quantités considérables de porcelaines dorées. Sèvres ne représente guère aujourd'hui que le cent-vingtième de la consommation totale en or réservé pour l'ornementation des poteries. A Limoges, une seule maison, MM. Haviland et Comp., consomme environ pour 100,000 francs d'or laminé.

OR PRÉCIPITÉ CHIMIQUEMENT.

Les détails qui précèdent donnent une idée bien nette des précautions qu'il faut prendre dans la préparation de l'or en coquille. L'or précipité chimiquement se fait avec facilité; mais toutefois à la condition d'observer certaines précautions qui l'empêchent de faire paillette. L'exposé des tours de mains particuliers, qui seuls peuvent assurer le succès de l'opération, sera sans doute accueilli favorablement par les praticiens qui liront cette note.

Or à la couperose. On dissout 300 grammes d'or dans un mélange formé de 900 gr. d'acide chlorhydrique du commerce et 1,000 gr. d'acide azotique ordinaire; si l'on préfère opérer par volumes, on prend, pour la quantité d'or employée ci-dessus, 720 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et le même volume d'acide nitrique. On dissout à froid, en ne faisant intervenir la chaleur que vers la fin de l'opération pour dissoudre les dernières traces de l'or laminé ; on décante pour éloigner une petite quantité

de chlorure d'argent; en effet, l'or dit à 1,000 millièmes contient toujours 0,001 à 0,015 d'argent métallique. On étend d'eau; on fait pour cela quatre portions à peu près égales de la dissolution d'or, puis on verse environ dix litres d'eau dans chacune de ces portions. On ajoute de la couperose dissoute en liqueur limpide, tant qu'il se forme un précipité. On laisse déposer pendant dix heures, on décante et on lave avec de l'eau d'abord à trois ou quatre reprises, pour éloigner l'excès d'acide et de sel de fer, puis avec de l'acide chlorhydrique pour éliminer tout l'oxyde de fer qui pourrait provenir de la décomposition de l'excès de protosulfate de fer par les premiers lavages à l'eau pure. On lave enfin à l'eau tiède, puis on fait sécher au bain-marie.

Il est à remarquer que l'or précipité reste doux et friable, si la dissolution de couperose est préparée plusieurs jours d'avance, il s'y développe quelquefois des végétations organiques qui ne nuisent pas à la réussite de la préparation; elles semblent, au contraire, s'opposer à ce que l'or se réunisse en fragments durs tenaces pendant la dessiccation.

On sépare enfin par un tamisage soigné les parties dures et les paillettes déjà formées, en écrasant l'or sec avec les doigts sur un tamis de soie.

Or au mercure. L'or précipité par la couperose est ordinairement très-dense et foisonne peu; il devient donc coûteux de se servir de ce procédé pour faire des décorations de peu de valeur et pour lesquelles l'or n'a pas à résister à des frottements considérables. On fait usage alors de l'or précipité par l'azotate de protoxyde de mercure, qui donne une masse beaucoup plus volumineuse, et qu'on peut étendre sous une surface plus mince. Voici les derniers dosages auxquels on s'est arrêté dans le service de la Manufacture de porcelaine de Sèvres.

On fait dissoudre 60 grammes d'or fin laminé dans 1,000 gr. d'acide nitrique, auxquels on ajoute 125 gr. de sel marin bien sec. On place le tout dans un matras qu'on fait chauffer sur un bain de sable et qu'on maintient à la température de l'ébullition tant qu'il reste encore de l'or à dissoudre. D'autre part, quand l'or est complétement passé dans la dissolution, on fait attaquer à froid d'abord, puis à chaud pour hâter la réaction, 700 gr. de mercure dans 1,000 gr. d'acide nitrique. Lorsque la dissolution est complète, et au moment même où la dernière petite bulle de

mercure vient de disparaître, on procède à la précipitation. A cet effet, on dispose une grande capsule de porcelaine pouvant contenir 10 à 12 litres, et on verse par petits filets à la fois les deux liquides, l'un contenant l'or, l'autre la dissolution de protonitrate de mercure. Les deux liquides se mêlent et déposent un magma volumineux, qui représente les 60 gr. d'or employé; il suffit de laver à l'eau chaude pour éloigner tous les sels étrangers et l'excès d'acide. La précipitation est accompagnée d'un grand dégagement de vapeurs rutilantes qui rendent cette opération impraticable dans une chambre confinée; aussi faut-il, autant que possible, l'exécuter en plein air.

Il est bon de suivre à la lettre la prescription qui précède. Si l'or est précipité par la dissolution de mercure après que cette dernière a subi l'ébullition au delà des limites que je viens d'indiquer, on n'obtient qu'une masse boueuse chargée de sels insolubles, qui ne contient que peu d'or : il faut, pour retirer ce métal, le précipiter par la couperose qui forme du sulfate de mercure, qu'on doit enlever par une calcination longue et dangereuse. Dans tous les cas, l'or est mal préparé; il faut le redissoudre à nouveau.

J'ai pris également l'habitude de tamiser l'or au mercure, comme je le fais pour l'or à la couperose; j'évite ainsi les paillettes qui se développeraient au broyage.

Avant d'être employé, l'or doit être broyé finement avec son fondant. Il faut en ajouter pour la dorure sur porcelaine dure et sur porcelaine tendre.

Sur la porcelaine dure le fondant d'or est du sous-nitrate de bismuth précipité par l'eau de sa dissolution dans l'acide nitrique : il est blanc, légèrement jaunâtre; il faut avoir le soin d'éviter l'addition du carbonate de potasse quand on le précipite, ce qui ajouterait au sous-nitrate de bismuth les oxydes de cuivre et de nickel contenus dans le métal du commerce. La présence de quelques millièmes de cuivre dans le fondant empêcherait l'or de fournir un beau mat.

Pour dorer la porcelaine tendre, on ajoute à l'or, comme fondant, du borate de plomb préparé par la précipitation de l'acétate de plomb par le borate de soude en solution concentrée; on ajoute ce dernier sel tant qu'il se forme un précipité; on lave à l'eau froide une ou deux fois et avec précaution.

OR FULMINANT.

On a préparé de l'or métallique en ayant recours à d'autres précipitations. Lorsqu'on examine avec soin l'or dont font usage les Chinois, on ne peut le prendre que pour de l'or pulvérisé mécaniquement; il ressemble aux nuages d'or qui apparaissent avec son éclat métallique et sa couleur propre dans une solution de chlorure d'or à laquelle on ajoute des matières organiques (sucres ou gommes), ou dans laquelle ou fait passer un courant d'oxyde de carbone. C'est un or léger très-ténu, qui ne couvre que mal la poterie sur laquelle on l'applique. On imite cet or au moyen des procédés suivants, que nous n'avons trouvés décrits nulle part avec assez de détails.

On fait dissoudre 3 grammes d'or pur, déjà précipité par la couperose pour l'avoir bien dépouillé de chlorure d'argent, dans 9 grammes d'acide chlorhydrique et 6 grammes d'acide nitrique. Cette dissolution faite est étendue de 1000 grammes d'eau distillée, puis précipitée par 180 grammes d'ammoniaque liquide ou filtrée ; le précipité constitue l'*or fulminant*, il détone avec une intensité remarquable lorsqu'il est sec ; aussi faut-il le conserver mouillé. Pour éviter tout danger, on étend le filtre et on le *laisse* se ressuyer à l'air libre. Quand l'or est ramassé encore humide, on l'étend sur la glace pour l'imbiber d'essence de térébenthine et le broyer; l'opération s'exécute sans explosion. Quand le broyage est complet, on le mélange d'essence grasse mêlée d'essence de lavande et on l'applique en couche mince et très-égale; avant le broyage on ajoute 0gr 03 d'argent en poudre et 0gr 03 de fondant de bismuth. On cuit avec précaution.

Cet or appliqué sur fonds bleus au grand feu en linéaments ou par frottis est d'un effet très-original ; il semble, lorsqu'on l'a simplement frotté, participer à la fois du lustre d'or et de l'or poli. Il est très-économique.

OR SOLUBLE OU LIQUIDE.

Un genre de décor en dorure, qui eut en Angleterre surtout, au commencement de ce siècle, un très-grand succès, reçut le nom de lustre Burgos. La préparation dont on faisait usage pour ce qu'on nommait le *purple gold luster* était connue dans les dif-

férentes usines qui fabriquaient les faïences fines. En France, ces procédés restèrent secrets jusqu'au moment où le premier brevet de MM. Paroy et Guedet, pris le 17 juillet 1818, vint faire connaître les bases des compositions propres à recouvrir les poteries du lustre d'or. Mais les recettes qui durent servir de point de départ à toutes les tentatives que firent les manufactures de faïences françaises pour imiter les produits anglais sont incontestablement celles que M. Boudon de Saint-Amans fit breveter le 22 septembre 1822.

Un procédé très-simple, mais évidemment très-imparfait, consistait à dissoudre au bain-marie 48 grains d'or dans une demi-once d'acide azotique, une demi-once d'acide muriatique, et une demi-once d'eau distillée, à faire ensuite dissoudre 48 grains d'étain dans la même proportion d'acide et d'eau que pour l'or; puis dans 30 gouttes d'infusion de houblon, à verser 40 gouttes de chacune des dissolutions d'or et d'étain, à mêler et appliquer sur la pièce avec un tampon de coton recouvert de mousseline; on sèche ensuite dans un moufle de fonte, et l'on cuit dans les moufles ordinaires.

Ce procédé, en quelque sorte primitif, sur lequel je reviendrai dans un *second mémoire*, fut publié dans le même brevet que la méthode au moyen de laquelle le chlorure d'or devait être décomposé par le baume de soufre à l'huile de lin. Nous la transcrivons ici en transformant les mesures anciennes en mesures nouvelles.

On fait dissoudre à chaud avec précaution 48 grammes d'or fin dans 288 grammes d'eau régale préparée dans le rapport de 1 partie d'esprit de nitre pour 3 parties d'esprit de sel. On y ajoute graduellement 4 gr 5 d'étain en petits grains; on verse une petite quantité de cette dissolution dans 20 grammes de baume de soufre fait avec une pinte d'huile de lin et deux onces de fleurs de soufre. On délaye dans 10 grammes de térébenthine, on mêle bien avant que d'y ajouter la dissolution d'or, que l'on ajoute en remuant par intervalles. On laisse fermenter quelques minutes, puis on verse le reste de l'or, en remuant jusqu'à ce que le tout s'épaississe; on ajoute en dernier lieu 30 grammes de térébenthine.

Nous avons fait voir, M. Ducom, Jacquelain et moi, les imperfections de cette méthode et l'insuffisance des moyens dé-

crits pour l'obtention d'un produit défini. Quoi qu'il en soit, ces mêmes données furent répétées dans différents recueils, en 1824 dans les *Recettes de Thomas Lakin,* en 1828 dans le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhausen*, par M. Jean Zuber, fils, et le *Dictionnaire des couleurs* de Leutch; les doses ne sont pas rigoureusement reproduites, mais on ne voit intervenir aucun élément nouveau dans ces descriptions qui semblent avoir été rédigées par des hommes entièrement étrangers à la décoration des poteries. Le *Journal de Dingler*, en 1835, applique le même procédé par voie d'impression pour éviter la pose à la main des lustres burgos et du chatoyant d'or.

On peut juger par les grandes quantités de pièces lustrées qui ont été fabriquées surtout en Angleterre, de la consommation d'or que ce genre d'ornementation dut exiger; cette consommation fut certainement notable surtout au commencement de ce siècle, quoique l'or n'entrât que pour une faible quantité dans le liquide aurifère. La mode n'attache plus aujourd'hui la moindre valeur aux objets céramiques lustrés et la consommation en or s'en serait singulièrement amoindrie, si le procédé des lustres, étudié de plus près, n'avait permis de préparer avec certaines précautions un liquide aurifère très-chargé d'or et l'abandonnant après une cuisson convenable sous forme d'une pellicule brillante, n'ayant pas besoin de passer par les mains du brunisseur pour prendre l'éclat de l'or poli.

Pour bien faire comprendre les modifications importantes au moyen desquelles on a radicalement changé la fabrication des lustres d'or, il peut être intéressant d'examiner ce qui se passe lorsqu'on met le perchlorure d'or, et plus généralement un sel soluble d'or, en contact avec certaines matières empruntées à la chimie.

Lorsqu'on soumet le chlorure d'or à l'action de certains liquides, il peut se présenter plusieurs phénomènes;

1° Ou l'or est réduit instantanément à l'état métallique; il se précipite alors sous forme d'une poudre plus ou moins brune, plus ou moins volumineuse; c'est ce qui arrive, ainsi que nous l'avons dit, avec le protosulfate de fer et le protonitrate de mercure: l'or, dans ce cas, cuit à l'état mat; il faut le frotter avec un corps dur, dit brunissoir, pour lui donner le brillant poli.

2° Ou l'or ne se précipite que lentement; il affecte alors l'éclat

métallique; il cristallise sous forme de petits cubo-octaèdres qui s'aplatissent au broyage et font paillettes; cet or n'est pas employable; c'est celui qui se sépare quand, par exemple, on traite une dissolution de chlorure d'or étendu par une dissolution d'acide oxalique.

3° Enfin, ou l'or se sépare de sa dissolution dans l'eau régale pour contracter une nouvelle combinaison avec le liquide en présence. Ce phénomène se présente avec certaines huiles. Il est rare qu'il n'y ait pas en même temps précipitation de l'or à l'état de paillettes cristallines.

Lorsque le chlorure d'or est à l'état concentré, si l'eau régale qui a servi à dissoudre n'a pas été éliminée, l'or qui reste dissous est en proportion minime relativement au volume du liquide employé; les acides réagissent violemment sur les huiles qui résinifiées ne sont plus aptes à se combiner avec l'or. Lorsqu'au contraire le chlorure d'or est étendu, ou lorsque les acides qui avaient été ajoutés en excès pour dissoudre l'or ont été éliminés, il n'y a que peu d'or séparé sous forme solide; il y en a beaucoup qui conserve l'état liquide, et reste en combinaison dans la matière huileuse. Les huiles sulfurées semblent être jusqu'ici les huiles les plus propres à la démonstration de ce dernier phénomène.

Le premier liquide peu chargé d'or ne donne que du lustre, du burgos, du chatoyant, du lustre d'or, suivant la quantité d'or qu'il a dissous; le dernier liquide, beaucoup plus chargé d'or, donne de la véritable dorure avec son éclat et sa couleur.

Ces conditions à remplir pour une dorure en quelque sorte théorique, ne suffisaient pas pour obtenir les produits avec tous leurs caractères industriels.

Les huiles dans leur état naturel réagissent sur le chlorure d'or avec une trop grande énergie comme corps réducteurs, pour qu'on puisse espérer faire passer dans le liquide huileux une quantité d'or suffisante; aussi doit-on, en même temps qu'on tempère l'action chimique du chlorure d'or, modifier les huiles elles-mêmes, de telle sorte que, mises en contact avec le chlorure, elles ne ramènent plus l'or à l'état métallique. C'est surtout par l'hydrogène qu'elles renferment que les huiles réduisent. On chasse cet excès d'hydrogène en faisant bouillir les huiles avec du soufre; il se dégage de l'acide sulfhydrique; une huile sulfurée qu'on

nomme baume de soufre prend naissance, et ce nouveau liquide, en mélange avec le chlorure d'or, précipite à l'état métallique et cristallisé beaucoup moins d'or que l'huile naturelle. L'essence de térébenthine donne de bons résultats; elle se transforme en une résine aurifère fluide à la température d'environ 60 degrés, et très-soluble à froid dans l'essence de lavande.

Pour être d'un usage convenable, le vernis aurifère doit jouir de certaines propriétés particulières qui sont d'une grande importance. Cette huile, ce vernis, cette résine, comme on voudra l'appeler, doit pouvoir se détruire facilement sans bouillonner et sans fondre, ce qui déplacerait la dorure, en lui permettant de s'étendre au delà des parties qu'on veut décorer; d'autre part, elle doit pouvoir se délayer facilement dans un véhicule peu coûteux qui permette de l'amener par des additions successives au point de consistance voulue pour un emploi facile; enfin elle doit être siccative pour sécher promptement, condition nécessaire pour un maniement rapide des pièces avant leur cuisson.

Lorsqu'on ajoute à l'essence de térébenthine un peu de térébenthine de Venise au moment où l'on prépare le baume de soufre, on obtient un liquide aurifère suffisamment siccatif sans qu'il perde de sa propriété de se détruire sans bouillonner et se fondre, et lorsque avant de le conserver pour la dorure on l'a bien dépouillé par des lavages à l'eau chaude des acides qu'il pourrait avoir emprisonnés, le liquide aurifère se purifie facilement des impuretés insolubles qui le souillent par la dissolution dans un excès d'essence de térébenthine et de lavande et par un repos prolongé suivi d'une décantation.

L'ensemble de ces précautions, en modifiant profondément la préparation des lustres, forme un système ingénieux autour duquel viennent se grouper, comme autour d'un type, des procédés dans lesquels on peut substituer, sans changement de système, aux opérations et matières employées, ou des opérations équivalentes, ou des substances analogues au point de vue chimique.

C'est ainsi qu'au lieu de térébenthine de Venise, on peut employer le galipot, la poix de Bourgogne, l'arcanson, la colophane; c'est ainsi que l'essence de lavande peut être remplacée par l'essence d'aspic; c'est ainsi que le chlorure de soufre liquide peut

être substitué pour faire le baume de soufre à la fleur de soufre; que le chlorure d'or étendu d'eau peut être directement préparé par l'action du chlore gazeux ou liquide sur l'or métallique; c'est ainsi qu'on peut exagérer, pour tempérer l'action du chlorure d'or acide sur les huiles, la quantité du baume ou des essences, ou bien encore éloigner les acides par évaporation sur le feu ou leur neutralisation; c'est ainsi encore qu'on peut filtrer au lieu de décanter, pour éloigner les dernières parcelles d'or pulvérulent insoluble et concentrer à l'air libre ou sous l'influence d'une légère chaleur, pour ramener à la consistance voulue pour un bon emploi. C'est ainsi enfin qu'au lieu de sous-nitrate de bismuth qu'on emploie pour fondant, on peut faire usage de borate de plomb, de borate de bismuth, de céruse, d'acide borique, etc. Toutes ces modifications ne sont que des variantes du système que MM. Dutertre frères ont fait connaître dans leur brevet du 12 décembre 1850.

La dorure brillante a été découverte en Saxe, à Meissen, en 1830, par M. Kühn, directeur de la Manufacture royale. On accueillit en France avec beaucoup d'intérêt une méthode courante permettant d'appliquer sur une pièce de porcelaine cuite en blanc, une matière capable de déposer de l'or sous une minceur excessive, économique, avec le plus vif éclat métallique, supprimant le brunissage, et susceptible d'être étendue sur tous les points, dans les plus petits replis des surfaces les plus ondulées, là ou le brunissoir eût été sans puissance pour transformer l'or mat sortant du moufle en or poli prêt à la consommation.

Mais on ne connut rien des procédés de M. Kühn : il est remarquable même qu'à l'époque actuelle on ignore le procédé dont on se sert à Meissen; aucune publication ne l'a fait connaître; il est encore secret; le seul fait qui soit parvenu jusqu'à présent à ma connaissance est la déclaration de M. Kühn, qui m'a certifié que les procédés dont on se sert dans la Manufacture de Saxe et dont il est l'inventeur, sont tout différents de ceux qui sont brevetés en France au profit de MM. Dutertre. Toutes les recherches que j'ai faites ou que j'ai demandé qu'on fît pour moi, m'ont conduit à nier toute publicité en Allemagne, en Angleterre, en Amérique. Les documents que j'ai pu recueillir avaient trait, soit aux lustres d'or, soit aux lustres burgos. Les procédés indiqués, incomplets ou trop concis, étaient insuffisants pour faire comprendre les con-

ditions à remplir à l'effet d'obtenir un liquide aurifère propre à la dorure brillante sans brunissage.

Il est incontestable que les procédés de la dorure brillante datent de la publicité qu'a reçue le brevet de décembre 1850. Cette description aura donc un intérêt historique. A ce titre, il peut être curieux d'en présenter ici l'esprit et la méthode.

D'après les procédés de MM. Dutertre, on chauffe légèrement un mélange de 32 gr. d'or, 128 gr. d'acide nitrique et pareil poids d'acide chlorhydrique du commerce; on ajoute, après dissolution, 1g 2 d'étain et 1g 2 de beurre d'antimoine; quand tout est dissous, on étend avec 500 gr. d'eau ordinaire.

Cette dissolution d'or dans l'eau régale étendue d'eau doit être décomposée par un baume spécial qu'on forme en dissolvant à chaud, jusqu'à ce que la dissolution prenne une consistance visqueuse et une coloration brun-foncé, 16gr0 de soufre en fleurs et 16 gr. de térébenthine de Venise dissous dans 80gr0 d'essence de térébenthine; quand la dissolution est complète, on ajoute 50 gr. d'essence de lavande; par le refroidissement, il ne doit se déposer que peu ou pas de soufre à l'état de liberté.

On verse alors la dissolution d'or sur le baume de soufre; on chauffe modérément et on brasse lentement pour amener *le contact* des deux liquides qui réagissent l'un sur l'autre; le chlorure d'or se décolore assez promptement, et si l'opération est bien conduite, l'or passe entièrement en dissolution dans le liquide huileux, qui devient lourd et résineux par le refroidissement.

On enlève l'eau qui surnage, elle entraîne les acides; on lave à l'eau chaude, et lorsque le lavage est complet et l'eau suffisamment retirée, on ajoute 65 gr. d'essence de lavande et 100 gr. d'essence de térébenthine: on fait chauffer avec précaution jusqu'à dissolution complète, puis on laisse reposer en mélangeant avec 15 gr. de sous-nitrate de bismuth. On décante enfin la partie claire qui s'est complétement dépouillée d'or réduit et de toute autre substance insoluble: cette partie claire est amenée, par une concentration convenable, à l'état voulu pour un emploi facile.

Ainsi, le système comprend:

1° Préparation de l'or;

2° Préparation d'un baume de soufre;

3° Réaction entre les deux liquides ;

4° Purification du produit brut de la réaction.

Le produit aurifère se présente alors sous forme d'un liquide visqueux à reflets légèrement verdâtres ; l'or y est à l'état soluble; les résines aurifères, abandonnées par le départ des huiles essentielles, se décomposent par la chaleur en donnant, à la température d'environ 120 degrés, un dépôt de charbon chargé d'or qui conserve l'apparence d'une feuille laminée sous une minceur excessive. Ce liquide, étendu de nouvelles quantités d'essences siccatives, conduit à volonté à la dorure moins chargée, aux dorures légères, aux lustres ou chatoyants. Il est remarquable que la réciproque n'est point vraie et que les anciens liquides au moyen desquels on préparait ces différents produits ne peuvent, même après concentration, fournir une belle et bonne dorure brillante.

Les observations qui précèdent font ressortir les principales précautions à prendre pour la réussite de l'opération ; elles ont leur importance au point de vue industriel, le seul que je me proposais de traiter dans cette note.

Au point de vue scientifique, il y aurait un intérêt réel à rechercher sous quel état se trouve l'or engagé dans la combinaison. Cette étude, accompagnée de difficultés sérieuses résultant de la nature résineuse des composés qui se forment, fera l'objet d'un mémoire spécial.

L'industrie de la dorure brillante est actuellement une entreprise considérable; sortie du domaine de l'expérience, elle est entrée dans celui de l'industrie.

Sans compter ce qui se consomme d'or en Allemagne à l'état d'or brillant, il est curieux de dire qu'en France une seule maison dépense environ 200,000 francs d'or ; cette consommation correspond à plus d'un million de façon, comprenant la décoration, la cuisson, la surveillance, etc.

Dans un second travail, je chercherai l'influence sur la consommation de l'or dans la décoration des poteries, de l'emploi du pourpre de Cassius. On sait que ce composé, sur la nature duquel il existe encore quelques doutes, sert indistinctement à préparer les couleurs rose, pourpre et violette dont on fait un grand usage dans la peinture sur porcelaine, sur verre et sur

émail. L'Exposition de Londres mettra bientôt à ma disposition des éléments nouveaux qui me fourniront les moyens de comparer ce qui se fait chez nous à ce qui se fait en Allemagne et en Angleterre.

Je ferai remarquer, pour terminer cette note, que l'or consommé dans la fabrication des poteries est entièrement perdu; il disparaît avec les pièces cassées; ce n'est, en effet, que très-exceptionnellement que les tessons sont réunis et traités pour en retirer l'or qu'ils peuvent donner. L'exemple le plus frappant que je puisse citer d'or réintégré dans la circulation après avoir servi à la décoration des poteries est le traitement qu'on put faire des tessons provenant, après 1848, du sac des Tuileries et du Palais-Royal. En ajoutant l'or fourni par suite de l'incendie de Neuilly, je restituai 12,000 francs d'or extrait des tessons qui me furent remis par la liste civile.

SUR LA COMPOSITION

DE

QUELQUES TERRES ARABLES.

PAR P.-P. DEHÉRAIN.

Depuis un temps immémorial, l'expérience a appris aux cultivateurs combien sont nombreuses les variétés de terre arable, et comment chacune d'elles se prêtant plus ou moins bien à certaines cultures, en exclut certaines autres.

Quand rassemblant ces premières notions expérimentales on voulut classer les terres en différents groupes, on fut tout d'abord frappé par l'abondance relative des deux éléments qui constituent le sol : l'argile et le sable, et suivant que l'un ou l'autre prédominait, on nomma les terres : fortes ou légères.

Cette première distinction empirique était fondée non-seulement sur la consistance de la terre et sur les efforts qu'exigeait son ameublissement, mais aussi sur l'observation de la réussite de certaines plantes dans le terres fortes, sur leur avortement dans les terres légères, et réciproquement.

Les agronomes anciens avaient déjà fait complétement cette distinction ; Virgile, qu'on relit davantage, indique comment on peut distinguer une terre forte d'une terre légère, et recommande cette dernière pour les vignes et les troupeaux.

Aujourd'hui encore, quand on veut étudier une terre arable, on commence par déterminer les proportions de sable et d'argile qu'elle renferme, tant on est persuadé que c'est là une première distinction de toute importance sur le choix des cultures qu'il y faudra tenter.

Il est bien entendu, au reste, que cette étude doit être faite rapidement ; avec des appareils un peu grossiers, car il suffit de déterminer les proportions de ces éléments fondamentaux à 4 ou

5 centièmes près ; il importe surtout de savoir de quel côté penche la balance et si la terre est forte ou légère.

A cette première détermination, qui peut être aujourd'hui exécutée très-facilement à l'aide d'un petit appareil dû à M. Masure, professeur au lycée d'Orléans, et fort employé maintenant dans les laboratoires de chimie agricole, peut se joindre la détermination de la densité de la terre arable, c'est-à-dire le poids d'un litre de cette terre bien tassée.

Les principales propriétés physiques du sol arable dérivent des proportions d'argile et de sable qui s'y rencontrent. Les terres fortes présentent une plus grande ténacité, retiennent plus facilement l'eau, la laissent moins égoutter, s'échauffent plus lentement que les terres légères ; les travaux y sont plus coûteux, plus difficiles, car après les pluies elles se délayent et deviennent inabordables ; par les grandes chaleurs, elles se dessèchent plus lentement que les terres légères, mais se fendillent davantage. — La couleur de la terre est encore une des propriétés physiques importantes, car elle facilite ou retarde l'échauffement du sol, qui a une si grande importance pour la maturation précoce des récoltes.

L'agronome allemand Schubler s'est particulièrement *occupé* des propriétés physiques des sols, et a beaucoup contribué à fixer sur elle l'attention des cultivateurs.

Si la terre arable sert de support aux plantes, elle a aussi une autre fonction à remplir : elle doit nourrir les récoltes ; aussi l'étude des propriétés physiques du sol ne suffit pas, il faut encore y ajouter l'étude de ses propriétés chimiques, il faut établir sa composition.

On commença cette recherche avec ardeur au commencement de ce siècle, et, ainsi qu'il était naturel, on voulut connaître et doser toutes les espèces chimiques existant dans le sol ; la silice, l'alumine, la chaux, la magnésie, l'oxyde de fer furent recherchés dans les terres ; on y dosa aussi l'humus, c'est-à-dire les débris de toutes les végétations antérieures, les détritus de tous les engrais enfouis dans la terre arable. On ne tarda pas à reconnaître toutefois que ce mode de recherche ne conduisait à aucun résultat précis, et qu'on était après ces analyses complétement incapable de se prononcer sur la valeur des terres étudiées.

Il fallut donc abandonner cette méthode et en rechercher une

autre. La marche analytique était presque impraticable, à cause de l'absence complète du mélange à analyser; au reste, l'insuccès qu'on venait d'éprouver semblait montrer qu'en persistant dans cette voie, on n'avait que peu de chances de réussite; il fallut donc opérer autrement.

On avait depuis bien longtemps reconnu l'utilité de l'humus, quand les recherches de Priestley, d'Ingenhourz, de Sennebier vinrent montrer que les plantes pouvaient s'assimiler des substances chimiques bien définies, telles que l'acide carbonique; on ne tarda pas dès lors à admettre que si les végétaux trouvaient leur carbone dans le gaz carbonique, ils pouvaient trouver leur azote[1] dans l'ammoniaque, et Théodore de Saussure paraît être le premier qui ait émis cette idée.

Cette opinion fut singulièrement affermie par une expérience célèbre de sir H. Davy. Voulant prouver combien sont grandes les pertes que font les fumiers abandonnés à une décomposition trop vive, le célèbre chimiste anglais « remplit de fumier une cornue capable de contenir trois pintes d'eau, et dirigea son bec sous les racines d'un gazon qui faisait partie de la bordure d'un jardin. En moins d'une semaine, l'effet était devenu sensible: l'herbe contrastait fortement avec celle qui ne recevait aucune des émanations de la cornue, et végétait avec une force extraordinaire. » Les gaz qui se dégageaient étaient de l'acide carbonique et de l'ammoniaque, qui concourent, l'un et l'autre, si l'humidité les retient, à la nutrition de plantes (octobre 1808).

Ce rôle de l'humus fut parfaitement défini quand, plus tard,

1. Si l'azote est un être simple, s'il n'est pas un élément de l'eau, on doit être forcé de reconnaître que les plantes ne se l'assimilent que dans les extraits végétaux et animaux et dans les vapeurs ammoniacales*, ou d'autres composés solubles dans l'eau qu'elles peuvent absorber dans le sol et dans l'atmosphère. On doit admettre que, lorsqu'elles végètent dans une atmosphère non renouvelée, à l'aide d'une petite quantité d'eau pure, les parties qui se développent n'acquièrent de l'azote qu'aux dépens de celui que les autres parties du végétal contenaient antérieurement à l'expérience. (Th. de Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation*; an XII, 1804.)

* On ne peut douter de la présence des vapeurs ammoniacales dans l'atmosphère lorsqu'on voit que le sulfate d'alumine pur finit par se changer, à l'air libre, en sulfate ammoniacal d'alumine. La supériorité des engrais animaux sur les engrais végétaux ne semble devoir tenir en grande partie qu'à une plus grande proportion d'azote dans les premiers.

vers 1840, le baron de Liebig imprima à la chimie agricole un vif essor en publiant la *Chimie appliquée à la physiologie et à l'agriculture*. « L'humus, dit le celèbre auteur allemand, nourrit les plantes, non pas parce qu'il est absorbé et assimilé comme tel, mais parce qu'il présente aux racines une source alimentaire lente et continue, une source d'acide carbonique qui approvisionne la plante de sa nourriture essentielle tant que les conditions nécessaires à la pourriture, l'humidité et l'accès de l'air se trouvent réunies.

Mettant à profit ces connaissances, M. Boussingault[1] se livra bientôt à un remarquable système d'expérimentation. Cultivant des plantes dans des sols absolument stériles, mais additionnés de matières de nature parfaitement définie, il est arrivé à déterminer très-nettement que les matières azotées à l'état de sel ammoniacal ou d'azotate, et que les phosphates solubles dans l'eau ou dans l'acide carbonique étaient nécessaires au complet développement des végétaux.

Tant que ces deux classes de substances font défaut, la végétation est anormale, et les matières azotées ne sont pas plus des engrais sans phosphates, que les phosphates sans matières azotées.

L'étude de la terre arable peut présenter une démonstration à *posteriori* des faits précédents; s'ils sont exacts, on doit rencontrer dans un sol fertile les éléments que les expériences synthétiques ont démontrés être nécessaires à la végétation.

Une analyse élémentaire n'est cependant pas complétement suffisante pour déterminer les conditions de fertilité de la terre arable. MM. Huxtable et Thompson, M. Way[2], ont en effet montré qu'elle possède la remarquable propriété de fixer à l'état insoluble les combinaisons ammoniacales qu'y apportent les engrais; les fumiers d'étable renferment au reste également des matières azotées à l'état insoluble, que M. Thénard étudie depuis plusieurs années avec succès[3]; enfin, les phosphates de chaux, de magnésie, etc., se transforment dans la terre arable, et deviennent

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, et notamment de 1857. — *Mémoires de chimie agricole et de physiologie*, 1860. Mallet-Bachelier.

2. *The Journal of the royal agricultural Society of England*, t. IX. 1850.

3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLVIII et XLIX. 1859.

nsolubles dans l'acide carbonique, insolubles dans l'acide du ol ; il faudrait donc, non-seulement déterminer dans le sol les léments que l'expérience a montrés être indispensables à la vie égétale régulière, mais de plus rechercher à quel état ces élénents se rencontrent actuellement, dans quelles circonstances ils e trouvent placés, et si leur passage de l'état insoluble à l'état ssimilable est possible[1].

Malheureusement les conditions dans lesquelles ont lieu ces nétamorphoses ne sont pas encore assez connues pour qu'il soit ossible de déterminer à quel point tels sols les présentent, à quel point tels autres en sont privés.

Si nous soumettons toutefois des échantillons divers de terre arable à une analyse minutieuse, détaillée, si nous trouvons que dans les terres arables très-fertiles, tous les éléments utiles à l'alimentation des plantes sont abondants, et que les substances dont on a reconnu l'utilité pour les faire passer à l'état soluble ne font pas défaut; si, au contraire, dans une terre d'une fertilité moyenne, ou dans une terre épuisée, nous trouvons tous ces éléments essentiels en moins grande proportion, nous aurons ainsi une excellente démonstration *à posteriori* des faits posés précédemment.

Enfin, nous pourrons peut-être déduire de l'examen d'une terre très-fertile les raisons de sa fécondité, et en tirer un enseignement utile à l'agriculture de notre pays.

M. Decaisne ayant bien voulu mettre récemment à notre disposition divers échantillons de terres très-fertiles, nous en avons fait une analyse détaillée; nous avons analysé de même une terre arable de la Brie d'une fertilité moyenne, de façon à pouvoir faire ressortir par la comparaison les causes de la qualité exceptionnelle des précédentes.

Nous avons d'abord cherché à déterminer les qualités physiques de ces terres, en y dosant l'argile et le sable par un simple lavage à l'eau ; l'essai a été fait sur des terres desséchées ; nous avons pris également la densité des échantillons examinés, en pesant à un gramme près un litre des terres normales bien tassées.

1. Voir pour plus de détails sur ce sujet dans l'*Annuaire scientifique* de l'auteur, LA TERRE ARABLE, où sont résumées quelques-unes des leçons professées au Conservatoire par M. Boussingault.

Nous avons ainsi trouvé dans un kilogramme de terre sèche :

	TERRE NOIRE DE RUSSIE TCHORNOIZEM.		TERRE DU PARANA (jaune).	TERRE DE LA BRIE, CHAPELLE-[illegible] près T[illegible]
	N° 1.	N° 2.		
Sable......	496	202	675	205
Argile.....	504	798	325	795
Densité....	1.266	1.186	1.034	1.226

Notre attention s'est ensuite portée sur le dosage exact des principaux éléments de ces terres, dont les travaux que nous avons cités précédemment ont montré l'importance.

Nous avons ainsi trouvé dans un kilogramme de terre sèche :

Analyse de un kilogramme de différentes terres sèches.

DÉSIGNATION DES MATIÈRES DOSÉES.	TERRES NOIRES DE RUSSIE TCHORNOIZEM.						TERRE DU PARANA.			TERRE DE LA BRIE. CHAPELLES-BOURBON près Tournan (Seine-et-Marne).		
	N° 1.			N° 2.			ANALYSES.		Moyenne	ANALYSES.		Moyenne
	ANALYSES		Moyenne	ANALYSES		Moyenne						
	N° 1.	N° 2.		N° 1.	N° 2.		N° 1.	N° 2.		N° 1.	N° 2.	
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Azote (des matières organiques)................	0.524	«	0.524	2.093	1.925	2.009	1.840	2.000	1.920	0.888	«	0.888
Carbone (des mat. org.).....	»	«	«	22.999	«	22.999	«	«	«	7.208	«	7.208
Acide phosphorique.........	0.570	«	0.570	1.546	1.295	1.420	1.140	«	1.140	0.900	«	0.900
Chaux..................	4.974	5.373	5.273	7.527	7.500	7.513	3.252	4.760	4.006	4.548	4.210	4.374
Magnésie.................	3.823	«	3.823	3.403	«	3.403	«	«	«	5.038	«	5.038
Oxyde de fer..............	«	«	«	18.700	19.400	19.100	«	«	«	17.300	«	17.300
Silice soluble..............	0.400	«	0.400	3.840	«	3.840	0.570	«	0.570	«	«	«
Nitrates correspondant à nitrate de potasse..........		traces.		0.027	«	0.027						

L'*azote* a été, dans ces essais, dosé par la chaux sodée, les terres employées avaient été séchées à l'air; on a rapporté les nombres à ce qu'ils auraient été si les terres eussent été complétement sèches.

L'acide azotique a été recherché par la méthode si élégante et si précise de M. Boussingault, et le dosage a été fait par mon collègue M. Lhôte, auquel ses travaux, dans le laboratoire de chimie agricole, ont donné une grande habileté dans ces recherches délicates.

Le charbon des matières organiques a été brûlé à l'aide de l'oxyde de cuivre et d'un courant d'oxygène, l'acide carbonique produit recueilli dans la potasse; on n'a pas défalqué l'acide carbonique provenant des carbonates que toutes ces terres renfermaient au reste en très-faibles proportions, car aucune ne faisait effervescence avec les acides.

L'acide phosphorique, la chaux et la magnésie ont été dosés par le procédé qu'emploie depuis longtemps M. Boussingault; 100 grammes de terre ont été traités par l'acide chlorhydrique concentré et bouillant; on a filtré, dans la liqueur additionnée d'alcool, on a séparé la chaux par l'acide sulfurique. L'alcool a été évaporé après filtration du sulfate de chaux; dans le résidu de la distillation on a ajouté de l'acide tartrique pour empêcher la précipitation du fer, puis on a sursaturé d'ammoniaque; après quarante-huit heures, on a séparé par le filtre un précipité renfermant, outre la silice soluble dans l'acide chlorhydrique, du phosphate ammoniaco-magnésien, dont la magnésie a été fournie par la terre elle-même.

Le précipité a été, après calcination, pesé, puis traité par l'acide chlorhydrique; la silice devenue insoluble a été pesée, et son poids retranché du poids précédent; la différence a donné le phosphate de magnésie.

On a enfin ajouté à la liqueur filtrée du phosphate de soude, de façon à séparer le reste de la magnésie, à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien.

L'oxyde de fer, quand on a jugé convenable de le rechercher, a été dosé dans 10 grammes de terre, traités par l'acide chlorhydrique bouillant, puis saturés par une lessive de potasse ou de soude, pour retenir l'alumine en dissolution; le précipité lavé à l'eau chaude a été redissout dans l'acide chlorhydrique, et préci-

pité par l'ammoniaque; il est possible que le fer entraîne dans ce dosage une petite quantité d'acide phosphorique, mais cet acide existe en si petites quantités dans 10 grammes de terre, qu'on n'en a pas tenu compte.

La terre noire de Russie, dont nous nous sommes occupés d'abord, a depuis longtemps fixé l'attention des géologues et des agronomes; on doit à Murchison[1] des renseignements intéressants sur sa situation géologique, et des hypothèses plausibles sur son mode de formation.

« Cette formation, dit l'auteur, se présente depuis le 54e degré de latitude nord, jusqu'au 57e, en occupant la rive gauche du Volga jusqu'à Tcheboksar, entre Nidji-Nowgorod et Kasan. On la trouve aussi en abondance dans la Kama et près d'Oufa; elle occupe un district étendu sur la côte asiatique des monts Oural près de Kamensk; elle existe encore entre Miask et Siviask. On la retrouve dans le pays des Baskirs et dans les steppes des Kirghis.

« Cette formation semble manquer entre Orembourg et l'embouchure du Volga, où le sol supérieur contient des débris de coquilles analogues à celles qui vivent encore dans la mer Caspienne. Elle manque aussi dans les steppes des Kalmouks; elle abonde au contraire au nord de ces steppes, où elle occupe une vaste étendue de terrains, se présentant en longues vallées, en pentes, non en plateaux, et à tous les niveaux, jusqu'à une hauteur de 400 pieds, et sur toute espèce de roches et de formations, recouvrant même la partie méridionale du sol diluvien amené par les courants du nord. »

« .... L'opinion la plus répandue en Russie quant à l'origine probable des terres noires ou Tchornoizem, est qu'elle est formée des détritus et des cendres provenant de forêts ou de plantes de toutes sortes. »

« Nous ne partageons nullement cette manière de voir. »

Murchison soutient avec raison, en effet, que si cette terre avait une semblable origine, on y devrait rencontrer des traces de débris végétaux. C'est ce qu'il n'a pu faire, et ce qui nous a été

1. Murchison. *Description géologique de la Russie d'Europe*, t. I. *Philosophical Magazine*. Janvier 1841. — *Annales des mines*. 1844.

aussi impossible ; la terre présente, au contraire, une très-grande homogénéité; elle ne présente aucun point de ressemblance avec une terre de bruyère.

Enfin, le géologue anglais résume son opinion par les phrases suivantes :

« Nous croyons que la terre noire a été formée par les dépôts d'une mer qui couvrait la Russie longtemps avant l'apparition de l'homme sur la terre, ou bien par les dépôts de plusieurs lacs immenses, séparés entre eux par des intervalles assez considérables.

« Il existe, il est vrai, une objection sérieuse à faire à cette hypothèse. Pourquoi ne retrouve-t-on pas des débris marins dans ces terres?

« Nous y répondrons, en supposant que la terre noire, après avoir été formée par les dépôts aqueux, a subi un soulèvement général, et que les coquillages et tous les autres débris ont pu être décomposés par l'action successive des eaux et de l'air atmosphérique.

« Peut-être sa couleur noire, et l'azote qu'elle contient proviennent-ils de la putréfaction des végétaux marins, des coquillages et des débris d'animaux microscopiques.

« En somme, nous ne voulons pas dire que la mer a *nécessairement* recouvert la surface de la Russie où on trouve la terre noire, et que cette substance provient nécessairement du sable jurassique *black jurassic shale;* il est seulement probable, d'après sa composition et la manière dont elle est répandue sur le sol, qu'elle s'est déposée au fond des eaux. »

Nous trouvons dans une lettre de M. Albich, adressée à M. Hébert en octobre 1854, des conclusions analogues :

« La nature du tchornoizem montre qu'il est purement de formation d'eau douce, et qu'il s'est formé aux lieux mêmes où nous le trouvons aujourd'hui, et tout s'oppose, au contraire, à l'idée que ce dépôt pur et fin ait pu être transporté du nord au sud par des courants ou de violents mouvements des eaux. »

L'auteur ajoute qu'il a rencontré ce terrain à une hauteur considérable de 1,600 ou 1,680 pieds au-dessus du niveau de la mer. « Cette différence extraordinaire de niveau entre ces dépôts identiques et très-probablement synchroniques présente, il est vrai, une grande difficulté, mais nous avons la probabilité pour nous,

en admettant un soulèvement continental au moment de l'époque actuelle. »

Les terres noires de Russie seraient donc, dans ces hypothèses, des dépôts lacustres, lentement formés, et ensuite émergés au-dessus des eaux par un soulèvement considérable des plaines de la Russie, ou par un abaissement dans quelque autre partie du globe voisin, dans lesquelles les eaux se seraient écoulées. L'hypothèse du soulèvement est même bien plus probable, puisque nous venons de voir que Murchison a reconnu que cette terre était souvent disposée obliquement, etc.

La couleur noire des terres serait due à des matières organiques en décomposition, à des matières riches en charbon, dont les grains noirs s'élèvent en poussière sous les pieds des chevaux, quand on les traverse.

Pour m'assurer que cette couleur très-foncée du tchornoizem était bien due à des matières organiques et non à des matières minérales, j'ai traité un échantillon de cette terre par l'acide chlorhydrique; j'ai dissous ainsi du fer, mais le résidu qui restait sur le filtre était encore complétement noir; j'ai alors calciné ce résidu avec du nitre, les matières organiques ont brûlé, le résidu de la calcination était presque blanc ; traité par l'acide chlorhydrique, puis de l'ammoniaque, il a donné un précipité incolore ; on remarquera, au reste, que un kilogramme de ces terres renferme près de 23 grammes de charbon, contenu dans des matières organiques, tandis que la terre des Chapelles, dans laquelle on a recherché cet élément pour établir la comparaison, n'en contient que 7 grammes, c'est-à-dire le tiers. Cette terre ne présente, au reste, que la couleur brune habituelle des terres argileuses. Il est donc démontré, par ces expériences, que les terres noires doivent bien leur couleur à des matières organiques.

L'échantillon de terre de la Plata, analysé, provient du delta des trois rivières, Parana, Urugay et la Plata. Il a été pris sur les bords de l'un des bras du Parana, tout près du point où il se jette dans la Plata. C'est une terre d'alluvion, formée par les dépôts du fleuve qui déborde souvent, et couvre le delta, lorsque les eaux de la Plata, très-hautes, empêchent l'écoulement de celles du Parana; il abandonne alors sur toutes les terres basses du delta un limon qui leur donne une grande fertilité.

A cette cause paraît s'ajouter des tourmentes de poussière : les *polvaredas*, qui viennent rajeunir à chaque instant le sol par l'apport de nouvelles matières minérales. Cette terre, d'après la description des voyageurs, est d'une admirable fertilité ; située, en effet, par 34° de latitude sud, irriguée, rajeunie par les inondations, elle est en effet dans une position unique [1].

La terre des Chapelles a été prise dans un champ épuisé par la culture; le domaine des Chapelles est situé sur le grand plateau de la Brie, entre la Seine et la Marne, presque au milieu d'une ligne qui irait de Melun à Lagny. C'est une bonne terre à froment; cependant elle n'est pas, dans le pays, considérée comme de qualité supérieure ; à un ou deux kilomètres plus à l'ouest, la terre est considérée comme meilleure, et se loue plus cher.

Si nous cherchons, maintenant que nous connaissons les conditions géologiques de ces diverses terres arables, à définir leur fertilité, nous croyons, d'après nos analyses, que l'une des terres de Russie se place au premier rang, l'autre au dernier; quant à la quantité d'azote et d'acide phosphorique contenue dans un kilogramme, il est très-probable que la terre n° 1 était une terre épuisée par la culture, tandis que la terre n° 2 commençait seulement à être cultivée. Je ne puis malheureusement rien affirmer sur ce sujet, car les indications qui accompagnaient les sacs ont été perdues pendant le voyage.

Une note de H. Hermann, insérée aux *Annales des mines*, 1838, tome XIII, nous confirme dans cette idée ; en effet, d'après ce savant, le terrain de Russie est extrêmement fertile, mais on en distingue sous ce rapport plusieurs variétés ; la plus fertile est le terreau vierge, qui n'a pas encore servi à la culture ; celle-ci l'appauvrit assez rapidement, sans que l'on aperçoive aucune différence à l'aspect.

Quoi qu'il en soit, nous rencontrons avec une très-grande abondance dans la terre n° 2, en moins grande quantité dans la terre n° 1, tous les principes que nous savons être nécessaires à la nutrition des plantes : les matières azotées, l'acide phosphorique, la chaux, la magnésie; tandis que la terre n° 1 ne renferme

1. Voyez *El Tempe Argentino, o el Delta de los rios Uruguai, Parana, y Plata*, por Marcos Sastre, 1860.

que des traces de nitrate, la terre n° 2 en donne, au contraire, des quantités considérables.

On remarquera cependant que la terre des Chapelles, qui ne produit des récoltes qu'à la condition d'être constamment fumée, se trouve être un peu plus riche que la plus pauvre des terres noires, et cependant on sait qu'après quelques années de repos, la terre noire pourra donner de très-abondantes récoltes sans engrais, tandis que, même reposée, la terre des Chapelles s'épuiserait avec une extrême rapidité, si on cessait de la fumer.

On remarquera encore que les nombreuses analyses des terres examinées par M. Boussingault et par M. J. Pierre ne montrent pas qu'il y ait entre un kilogramme de ces terres et un kilogramme de la terre de Russie une différence bien sensible ; ainsi M. Boussingault a trouvé dans un kilogramme de matière séchée à l'air[1] :

	TERREAU des Maraîchers.	TERREAU NEUF de Verrières.	TERRE LÉGÈRE de Bichswiller.	TERRE LÉGÈRE du Liebfrauenberg.	TERRE FORTE du Bechelbronn.	TERRE d'un herbage à Argentan (Orne).
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Azote entrant dans la constitution des matières organiques[1]	10.503	5.281	2.951	2.594	1.397	5.130
Ammoniaque toute formée	0.118	0.084	0.020	0.020	0.009	0.060
Nitrates équivalents à nitrate de potasse	1.071	0.940	0.526	0.175	0.015	0.046
Acide phosphorique	12.800	3.424	5.536	3.120	1.425	0.943
Chaux	63.006	11.280	32.030	5.516	20.914	68.470
Carbone appartenant à des matières organiques[2]	99.400	66.422	28.770	24.300	11.590	40.900

1. Azote dosé par la chaux sodée dont on a déduit l'azote de l'ammoniaque toute formée.
2. Carbone dosé en pesant l'acide carbonique formé par la combustion, l'acide carbonique appartenant aux carbonates ayant été retranché.

Ainsi, pour apprécier la richesse d'une terre arable, il ne suffit pas de doser les principes utiles qui se rencontrent dans un kilogramme, il faut encore savoir combien il y a de kilogrammes de terre arable sur un hectare.

C'est qu'il faut faire intervenir l'épaisseur de la couche arable. Tandis qu'en attribuant à la terre des Chapelles une épaisseur de 30 centimètres, on est généreux, Murchison affirme que les terres

1. *Chimie agricole élémentaire*, t. II, page 54.

noires de Russie ont parfois de 5 à 6 mètres de profondeur; il est vrai que Hermann, de son côté, ne leur attribue qu'une profondeur de 50 centimètres à un mètre, bien qu'il ajoute que, dans quelques endroits, elle soit plus considérable; il est vraisemblable qu'il en doive être ainsi, si cette terre est un dépôt lacustre, sa profondeur varie naturellement avec la configuration du sol sur lequel il s'est formé.

La terre du Rio de la Plata paraît avoir douze pieds[1] espagnols de profondeur, c'est donc, au minimum, 3 mètres 1/2; si, d'après ces données, nous calculons le poids de la terre arable d'un hectare pour les échantillons analysés, puis que nous calculions encore le poids des principes utiles qui s'y doivent trouver, en admettant que la terre arable présente dans son ensemble la même composition, la différence de leur fertilité va s'accuser par des chiffres.

Nous avons fait ces calculs en supposant que la terre arable présentait dans toute son épaisseur la même constitution, il est possible cependant qu'il n'en soit pas tout à fait ainsi, car M. J. Pierre[2] a montré récemment que la quantité d'azote contenu dans la terre arable va en diminuant assez rapidement avec la profondeur; en effet, il a trouvé pour un kilogramme :

1re couche de la surface à 25 centimètres de profondeur....	1gr.132
2e couche, de 25 centimètres à 50 —	1gr.008
3e — de 50 — à 75 —	0gr.765
4e — de 75 — à 1 mètre de profondeur......	0gr.837

On voit cependant que dans la terre étudiée par M. J. Pierre, la dernière couche était un peu plus riche que la troisième; quoiqu'il en soit, il est probable que les nombres inscrits dans le tableau ci-contre sont un peu trop forts.

1. *El Delta de los rios, Urugai, Parana, y Plata*, por Marcos Sastre, p. 31.
2. *Annales de chimie et de physique*, t. LIX, p. 63. 1860.

Composition de différentes terres.

	TERRE NOIRE DE RUSSIE, N° 1.	TERRE NOIRE DE RUSSIE, N° 2.	TERRE JAUNE DU PARANA.	TERRE DE BRIE (aux CHAPELLES-BOURBON.
Densité	1.266	1.186	1.034	1.300
Profondeur	3m.	3m.	3m.50	0m.30
Poids de la terre arable de 1 hectare	37.980.000k.	35.580.000k.	25.850.000k.	3.900.000k.
POIDS des matières dosées que renferme 1 hectare.				
	t. k. gr.	t. k. gr.	t. k. gr.	t. k. gr.
Azote	19.901.420	71.480.220	63.800.000	3.521.700
Acide phosphorique	21.648.600	50.559.180	38.013.000	3.541.200
Chaux	189.912.520	267.312.540	127.395.000	19.722.300
Magnésie	145.297.540	25.012.540	104.665.000	22.713.600
Charbon	»	818.304.420	»	28.778.900
Oxyde de fer	»	690.252.000	»	7.800.000
Nitrate de potasse	»	960.660	»	»

M. Liebig a également analysé la terre arable de Russie, et il a calculé la quantité d'ammoniaque qu'on rencontre dans un hectare.

D'après le savant professeur de Munich, la terre noire de Russie renferme par hectare :

Au minimum 26,709 kilogrammes d'ammoniaque.

Au maximum 52,254 —

Ces nombres ne sont pas tout à fait semblables aux nôtres; mais on comprend très-bien que les échantillons analysés, ayant très-certainement été pris dans des localités différentes, condui-

sent à des résultats différents également, bien qu'ils soient dans le même sens.

Quoi qu'il en soit, ces nombres diffèrent essentiellement de ceux que donne la quantité d'azote contenue dans un hectare de nos terres françaises, dont la profondeur est moindre; ainsi M. Boussingault attribue aux terres dont nous avons cité l'analyse plus haut une profondeur de $0^m.3557$, et il trouve alors pour l'azote d'un hectare :

Bischwiller	14,755 kil.
Liebfrauenberg	12,970
Bechelbroun	6,985
Herbage d'Argentan	25,650

D'après ces calculs approximatifs, la terre de l'herbage qui était si riche renfermerait cependant une moins grande proportion de principes utiles que la terre de Russie n° 2, et cette différence serait due uniquement à la plus grande épaisseur de celle-ci[1].

On comprend aisément que pour que les plantes puissent végéter dans des terres arables renfermant des quantités aussi énormes de principes utiles, il faut que ces principes n'y soient pas tous actuellement à l'état soluble; s'il en était autrement, les conditions de végétation seraient tout à fait exceptionnelles, et les plantes mourraient de pléthore; il se produirait probablement dans un sol aussi riche quelques-uns de ces phénomènes de verse continuelle, due à une croissance exagérée qu'a observée M. Moll

1. Certains faits connus des cultivateurs montrent de la façon la plus nette l'influence considérable de l'épaisseur de la couche arable.

Dans la discussion qui suivit la présentation de ce Mémoire à la Société chimique, un de nos collègues, M. Laveisse, rappela le fait suivant qui est bien propre à convaincre :

Un propriétaire avait acheté des terres dans les Landes, où la terre arable n'a qu'une très-faible épaisseur et repose sur une couche très-dure, très-dense, d'une pierre rougeâtre connue dans le pays sous le nom d'alios; il n'obtenait que des récoltes peu rémunératrices quand il eut l'idée d'enlever toute la couche arable de la moitié de l'un de ses champs pour la remettre sur la seconde moitié. La terre arable avait doublé d'épaisseur et dès lors la culture fut possible et fructueuse. — Il reste bien entendu à savoir, cependant, si la plus-value des récoltes a pu couvrir les frais considérables de main-d'œuvre et de transport qu'a nécessités l'opération.

dans les cultures soumises à un arrosement trop abondant des eaux des vidanges de Paris.

M. Boussingault a au reste démontré d'une façon très-complète que de tout l'azote que recèle une terre, une très-faible fraction est actuellement à la disposition des plantes; les quantités d'ammoniaque et d'acide azotique qu'il y a dosées sont très-peu considérables, et si, comme il l'a fait, on sème une graine de haricot nain dans un pot de petite dimension, ne pouvant renfermer que quelques grammes de terre (130g) contenant cependant 0g,34 d'azote, on voit la petite plante ne donner qu'une végétation rabougrie semblable à celle qui se serait produite dans une terre absolument stérile[1]. Des plantes de la même espèce végétaient au reste vigoureusement dans une plate-bande du potager d'où la terre avait été extraite; c'est que dans ce second cas la plante avait à sa disposition une étendue de terre infiniment plus considérable que dans le creuset-pot, et que ses racines pouvaient aller glaner de toutes parts la petite quantité d'azote actuellement assimilable qui se trouve répandu dans la terre arable.

Il y a entre une terre arable profonde et un sol d'une faible épaisseur exactement le même rapport qu'entre le creuset-pot et la plate-bande dans l'expérience de M. Boussingault; la terre peut présenter une composition semblable ou à peu près semblable, comme la terre de Russie nº 1 et la terre des Chapelles, mais comme dans le premier cas, les plantes peuvent envoyer leurs racines dans un très-grand espace, tandis qu'il est fort limité dans le second; elles végètent dans les deux cas avec une énergie fort différente.

L'expérience directe et l'analyse démontrent donc qu'il n'y a qu'une faible portion de l'azote total de la terre arable qui soit actuellement assimilable. M. P. Thénard et l'auteur de cet article ont aussi montré que la plus grande partie des phosphates enfouis dans le sol y sont à l'état insoluble[2]. Il importe donc de rechercher comment s'effectue la transformation des substances insolubles de la terre arable en ammoniaque ou en acide azotique; il est probable que les procédés qu'emploie la nature sont très-divers; la nitrification se place probablement au premier rang; qu'une base, de l'hu-

1. *Agronomie, chimie agricole*, t. I, p. 300.

2. *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*, p. 65.

midité, des matières azotées, de l'oxygène, soient au contact de ces corps poreux, condensateurs des gaz qu'on trouve dans le sol arable, et bientôt les matières azotées se brûleront pour produire des nitrates; cette action ne se manifeste probablement qu'avec une certaine lenteur; aussi, quand on cultive une terre sans la fumer, convient-il de la laisser reposer, en l'aérant, en la retournant pour y laisser pénétrer l'oxygène nécessaire à la combustion des matières azotées qu'elle renferme.

On peut ainsi, par un travail mécanique soigné, aérer la terre, y faire pénétrer l'oxygène atmosphérique, y brûler de plus en plus complétement les principes insolubles, et continuer d'avoir des récoltes sans ajouter de nouvel engrais; c'est probablement là l'explication des cultures sans engrais poursuivies avec succès pendant dix et douze ans sur les mêmes terres par le pasteur Smith à Lois Veedon[1].

Ainsi l'air atmosphérique, pénétrant dans les couches de la terre arable, peut déterminer la transformation des matières azotées; nous n'affirmons pas, au reste, qu'il agisse directement. MM. Liebig, Kulhmann, Thénard ont montré[2], il y a déjà quelque temps, que le peroxyde de fer pouvait être un de ces agents puissants d'oxydation; en mettant en contact cet oxyde avec les matières noires azotées qu'on rencontre dans le fumier, on les brûle et on finit par obtenir des nitrates.

Ce même oxyde de fer joue également un rôle important dans l'assimilation des phosphates; nous avons en effet démontré que les nodules qui remplacent le plus de phosphates de fer sont ceux qui cèdent la plus grande quantité d'acide phosphorique aux dissolvants qui agissent sur ce sel, et que cette proportion de matière soluble va aussi en croissant à mesure qu'est plus prolongée l'exposition à l'air de ces nodules pulvérisés[3].

Nous avons déjà insisté ici même sur les métamorphoses que subissent les phosphates enfouis dans le sol[4].

Il est probable que des transformations semblables s'effectuent dans les terres noires de Russie, dans les terres des Chapelles, où

1. Voir le *Farmer's Magazine*, 1860; voir aussi l'*Agriculteur praticien*, 1860.
2. Comptes rendus, 1859, t. LXIX.
3. *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*, p. 71.
4. *Annales du Conservatoire*, t. II, p. 175; 1861.

les jachères persistent; nous y avons rencontré en effet des quantités considérables d'oxyde de fer.

Après quelque temps, la terre ne peut plus rien fournir aux plantes, elle s'épuise; c'est que tout l'azote actuellement assimilable est absorbé, qu'il faut laisser par conséquent le temps aux couches arables profondes, non entamées par la culture, de renvoyer par capillarité aux couches supérieures les nitrates, les sels ammoniacaux; il faut que les phosphates se dissolvent; la jachère repose la terre, non pas tant en lui apportant par les agents atmosphériques de nouvelles richesses qu'en lui donnant le temps nécessaire pour mettre celles qu'elles possèdent sous une forme favorable à l'assimilation.

Quant à la terre du Rio de la Plata, elle se trouve dans des conditions tellement spéciales, qu'elle peut produire sans compter, irriguée, exposée à une chaleur considérable, rajeunie chaque année par le limon du fleuve, elle se trouve dans les conditions les plus avantageuses qu'il soit possible.

En résumé, on peut tirer des analyses et des considérations précédentes ces conclusions :

1° Que bien que l'analyse chimique décèle entre des terres arables de fertilité différente des compositions assez différentes, elle serait impuissante à les classer d'après cette fertilité, si on ne tenait pas compte de la *profondeur* de la couche arable, c'est-à-dire de l'espace dans lequel les racines des plantes peuvent puiser leurs aliments;

2° Que la fertilité des terres dépend donc probablement beaucoup plus de leur constitution physique, de leur *masse*, que de leur composition centésimale;

3° Qu'un des moyens les plus puissants d'accroître la fertilité est d'augmenter l'épaisseur de la couche arable par des labours profonds suivis de fumures abondantes qui ont pour but de donner à la couche ajoutée à la terre arable la composition de cette dernière.

Qu'il me soit permis d'ajouter en terminant que j'ai été aidé dans ces analyses avec beaucoup de zèle par deux de mes élèves, MM. G. Tissandier et A. Bourgougnon, qui travaillent sous ma direction au laboratoire de M. Baudement.

INTRODUCTION

AUX ÉTUDES SUR L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE LONDRES EN 1862.

Nous approchons rapidement du moment de l'ouverture d'une de ces grandes fêtes de l'industrie, qui constituent, sans contredit, l'un des plus beaux spectacles auxquels puisse assister notre génération essentiellement industrielle. On se demande déjà, de toutes parts, quel sera le caractère de la grande exposition des produits de l'industrie des nations, qui va s'ouvrir à Londres au mois de mai. Ce serait en effet se placer à un point de vue bien étroit que de se borner, lors de ces grandes solennités, qui viennent successivement exciter l'admiration universelle, à contempler en lui-même le spectacle curieux qu'offre la réunion des divers travaux des ateliers. Il importe d'y savoir trouver l'indication distincte des progrès sur lesquels repose la civilisation matérielle des nations modernes, qui se développe si rapidement, et dont le caractère de perfectibilité est de jour en jour plus frappant.

Dans ces grandes assises du dix-neuvième siècle, il se dégage, du contact des hommes et des choses, un sentiment de fraternité de bon aloi, d'abandon des haines héréditaires qui doit être signalé avant tout : c'est là sans contredit leur plus noble résultat, leur fruit le plus précieux. C'est à ce point de vue si élevé que se plaça leur illustre et regretté promoteur, le prince Albert, lorsqu'il décida l'Angleterre à donner en 1851 un exemple peu en rapport avec le génie britannique, que l'on croyait alors si exclusif et si personnel. « C'est une grande satisfaction pour « moi, disait le prince Albert, au banquet qui lui fût donné, en « l'honneur de l'entreprise, par la Société des arts, c'est une « grande satisfaction pour moi, qu'une idée que j'avais suggérée, « parce qu'elle me semblait convenir à notre temps, ait obtenu « une adhésion générale et le concours de tous les efforts; car

« c'est la preuve que le sentiment que j'ai du caractère particulier « et des nécessités du siècle est sanctionné par la conscience du « pays... Quiconque a observé les traits distinctifs de notre épo- « que ne peut mettre en doute que nous soyons au milieu d'une « transition merveilleuse, qui nous mène rapidement à la grande « destination vers laquelle tous les événements de l'histoire ont « acheminé nos pères et nous, l'unité de la race humaine : non « pas une unité où toutes les barrières soient abaissées, où toutes « les nuances soient confondues dans l'uniformité d'une teinte « monotone, mais bien une unité qui soit l'harmonie de toutes les « dissemblances, l'accord de tous les attributs en apparence op- « posés. » Ce fût sûrement cette impulsion vers le rapprochement des nations européennes qui donna son caractère le plus saillant à l'Exposition universelle de 1851, et il n'est pas un seul des si nombreux visiteurs de cette époque qui ne se rappelle combien ces sentiments de concorde, de bienveillance universelle, venant réagir contre les dangers de guerre que faisait naître le désordre politique, étaient en quelque sorte dans l'air que l'on respirait dans la grande métropole, et qui n'ait eu à constater l'obligeance de quelque Anglais enchanté, à ce moment, d'être agréable à un étranger, qu'il considérait comme un hôte de la nation anglaise.

Les expositions universelles de 1851 et de 1855 ont exercé une influence considérable sur les relations toujours plus actives du commerce et sur les progrès de toutes les industries. Celle qui se prépare ne sera pas moins féconde en bons résultats.

Au point de vue de l'industrie, l'exposition de 1851 laissa, sans conteste, à l'Angleterre le sceptre de la grande production; le Palais de Cristal, admirable construction en fer, les nombreuses machines, les élaborations multiples des métaux et des matières textiles, représentées par de nombreux spécimens, semblèrent consacrer pour les industries les plus anciennes de l'Angleterre une avance notable sur des concurrents, qui eussent difficilement apporté des assortiments d'une importance comparable aux leurs.

Au point de vue du goût, l'industrie française parut avec un grand éclat, et vint, dans les produits que l'art contribue surtout à embellir et à créer, montrer une véritable supériorité. Dans les produits même où l'Angleterre avait conquis une ancienne réputation, elle fut éclipsée; enseignement dont elle eut

le bon esprit de tirer parti, en organisant, aussitôt après l'exposition, et en partie même avec les bénéfices que celle-ci avait procurés, l'éducation artistique de la jeunesse sur une grande échelle.

En dehors de ces deux faits principaux, il nous semble impossible de ne pas reconnaître aujourd'hui que, grâce aux progrès et à la vulgarisation de la science industrielle, les principaux États chez lesquels l'industrie est arrivée à un puissant développement, l'Angleterre, la France, l'Allemagne, les États-Unis, etc., possèdent au même degré les connaissances les plus indispensables; dès lors que la supériorité d'un établissement, d'une nature de produits, résulte immédiatement de la supériorité personnelle du producteur; il dispose assez aisément de toutes les ressources accumulées avant lui, pour que, son génie n'ayant plus à s'efforcer de combler une lacune considérable, qui le séparerait de ses rivaux, il puisse se manifester aussitôt par un progrès plus personnel. Le caractère propre aux expositions universelles n'est plus alors d'indiquer des supériorités par nations, car elles ne donnent pas la mesure même approchée de la production, mais seulement celles des aptitudes scientifiques et du goût de chaque producteur.

Si la vie industrielle se développe simultanément dans toute l'Europe, on ne peut éviter de conclure que sûrement, dans l'avenir et déjà dans l'Exposition actuelle, les enseignements que l'on pourra recueillir ne seront plus collectifs ou propres à la nation à laquelle appartient le producteur. Ces réunions de produits feront connaître les œuvres de premier ordre, créées simultanément par les producteurs rivaux du monde entier; pour en tirer un parti réellement utile, il ne conviendra plus de photographier de grands ensembles, mais il suffira de constater les progrès, pour ainsi dire individuels, des diverses fabriques.

L'étude des expositions universelles nous paraît, d'après cela, devoir sortir du vague dans lequel on est en général resté jusqu'ici; en dehors des rapports d'ensemble et au point de vue spécial auquel nous devrons nous placer à l'avenir, il y a donc à faire un travail complémentaire et d'une extrême utilité.

Nous voulons parler de l'étude détaillée, avec dessins et légendes à l'appui, des machines d'invention récente, des nouveaux procédés de fabrication, des chefs-d'œuvre d'art industriel, et tirer de cette étude, nécessairement un peu sommaire, vu la

multiplicité des objets qui fixent l'attention, les moyens d'activer encore le progrès industriel; surtout il importe de ne pas la noyer dans l'énumération des produits ordinaires, que tout le monde en quelque sorte connaît, et que chacun produit bien aujourd'hui quand il dépense le capital suffisant pour établir une fabrique. L'importance de la fabrication de semblables produits est une question d'économie politique, d'administration, mais elle n'est que d'intérêt secondaire, au point de vue de la technologie. La description des procédés connus pour les créer est un objet d'étude intéressant sans doute, mais il n'y a pas à la comprendre dans la revue des derniers progrès accomplis, qui doit être surtout mise à la disposition des ingénieurs, des fabricants, des commerçants expérimentés.

C'est cette conviction qui nous a fait penser que les professeurs du Conservatoire, que nombre d'ingénieurs, de savants et d'artistes qui par devoir, comme par plaisir, étudieront avec un vif intérêt les œuvres remarquables de la grande Exposition de 1862, se réuniraient volontiers pour enrichir ces annales d'une série de travaux ayant pour objet de signaler les progrès accomplis, les œuvres remarquables dans chaque direction. C'est en quelque sorte la constatation du niveau le plus élevé de la science et de l'art industriel, dans le monde entier, qu'il devient possible de déduire de l'intéressant spectacle auquel nous allons assister bientôt, et nous manquerions à notre mission si nous ne nous efforcions d'y parvenir par des études consciencieuses.

Notre travail se distinguera donc des comptes rendus qui ont été publiés jusqu'ici par un cachet particulier, et surtout, nous l'espérons, par un plus haut degré d'utilité. Nous le répétons : pour nous, les études économiques sur les diverses branches de l'industrie chez des peuples rivaux, l'histoire de la naissance des fabrications diverses, etc., que l'on répète à satiété lors de chaque exposition, bien qu'elles n'aient avec chacune d'elles qu'un rapport assez indirect, doivent faire place aujourd'hui à l'étude des procédés nouveaux, à l'indication et à la reproduction, par le dessin des œuvres les plus remarquables, et sans attacher grande importance à leur nationalité.

L'élément économique et historique entrera toujours pour une proportion suffisante dans tout travail qui succédera à la grande publication de la Commission française sur l'exposition de 1851,

notamment aux travaux de MM. C. Dupin, Poncelet, etc. Ce travail est trop complet au double point de vue de la comparaison des forces industrielles des nations, et de l'origine des inventions, pour devoir être refait, plus vite et moins bien, tous les cinq ans.

Le plus grand avantage de notre travail résulte précisément de ce que nous n'avons aucune obligation de parler de telle ou telle chose. Nous entrerons dans les détails nécessaires pour faire comprendre les progrès importants; nous aurons le droit de nous taire sur tout ce qui ne nous présentera qu'un intérêt secondaire; absolument libres à cet égard, nous n'aurons pas à craindre de cacher au milieu de détails les plus insignifiants les faits de quelque valeur.

Il ne faudrait pas d'ailleurs croire que depuis dix ans, ou pour parler avec plus de précision, depuis l'Exposition de Londres, les progrès industriels aient été peu sensibles. Il nous sera facile de faire voir que le monde a beaucoup vécu pendant ce petit nombre d'années, et il n'est pas une seule de nos principales branches d'industrie qui n'ait donné naissance à de véritables conquêtes, dont quelques-unes nous auraient trouvés bien incrédules si l'on nous en avait parlé un peu plus tôt.

On en jugera parfaitement par les études que nous publierons successivement; mais, sans anticiper sur les sujets qui attireront particulièrement notre attention, il est dès à présent facile d'indiquer dans la plupart des grandes divisions, qui sont déterminées par la classification anglaise, quelques-uns des faits les plus saillants, dont quelques-uns, de date encore récente, sont déjà devenus presque vulgaires.

1. Dans l'industrie minérale, la fabrication sur une grande échelle des agglomérés de houille n'a pas moins d'importance que les divers procédés employés, dès à présent, pour la production de l'acier, ce métal qui a toutes les propriétés du fer, avec une durée et une ténacité plus grandes; l'emploi des cuivres du lac Supérieur, le développement de l'industrie du zinc, la découverte d'un métal plus léger que tous les autres, l'aluminium, sont autant de faits qui ont déjà produit des conséquences importantes.

L'art des mines s'est en même temps amélioré; on a substitué l'usage des machines spéciales à celui des bennes pour le remontage et la descente des ouvriers; on a construit des para-

chutes qui, en cas de rupture des câbles, retiennent, comme par miracle, les charges suspendues au milieu de l'abîme; on a beaucoup fait enfin pour améliorer l'exploitation des richesses du sol; les moyens d'extraction se sont multipliés, et voilà qu'aujourd'hui on s'occupe beaucoup plus des huiles minérales de l'Amérique, que de cet or de la Californie qui a fait tant de victimes.

2. Les industries chimiques progressent : le procédé Balard va trouver dans les procédés mécaniques de réfrigération, une liberté d'allure que les influences atmosphériques ne lui avaient accordée jusqu'ici qu'à certaines époques. L'acide stéarique, employé en si grandes quantités pour la fabrication des bougies, se produit aujourd'hui par voie de distillation simple, et à l'exclusion des réactifs coûteux nécessités par les premiers procédés. Les pyrites de fer, pendant longtemps inutilisées, entrent pour une plus grande part dans la production de l'acide sulfurique.

3. En ce qui concerne les substances alimentaires, la pisciculture a déjà rendu de grands services, et il est certainement remarquable qu'au milieu de l'enchérissement général de toutes les denrées, le poisson seul ait échappé à la loi commune. Les procédés relatifs à la conservation des blés, soit en greniers, soit en silos, se sont généralisés, et sont venus ajouter leurs avantages, à l'assurance que l'abaissement des barrières fiscales semble promettre contre la disette.

La fabrication du sucre est celle des industries alimentaires qui s'est le plus transformée, et les nouveaux appareils qui seront exposés par une importante maison française, donneront l'occasion de comparer tous les nouveaux procédés, proposés et appliqués dans ces derniers temps pour la fabrication du sucre de canne et celui de la betterave.

On peut dire que, par l'emploi des turbines centrifuges, cette industrie s'est complétement transformée.

4. Le caoutchouc durci, qui s'était produit pour la première fois en 1851, parmi les produits américains, a donné lieu à plusieurs applications intéressantes; mais c'est surtout à l'état de caoutchouc vulcanisé que cette substance est devenue d'un emploi tellement général pour certaines applications, que, malgré les chiffres toujours croissants de l'importation, on a dû recourir à des caoutchoucs artificiels, très-remarquables, et dérivés de

l'huile de lin. La connaissance plus récente de la gutta-percha n'a pas eu moins d'influence sur les progrès de l'industrie, et la galvanoplastie a trouvé en elle un auxiliaire indispensable. La conservation des bois n'est plus à l'état d'essai; elle seule permet de suppléer à l'insuffisance des bois durs, et certains déserts des Landes sont aujourd'hui transformés en vastes ateliers de préparation, dans lesquels on associe l'emploi des agents chimiques à une température plus élevée, avec ceux d'un vide préalable pour purger les pores, d'une grande pression pour les remplir.

Mais c'est surtout dans les applications des sciences mécaniques et physiques, que le domaine de l'industrie a pris d'immenses développements.

5. Les locomotives de 1851 se sont centuplées en nombre, doublées en force, et voilà qu'on leur donne huit et douze roues, pour leur permettre de traîner, à toutes vitesses, des convois de plus en plus lourds; la machine Crampton, la machine Engerth, sont aujourd'hui bien surpassées par les machines du chemin de fer du nord de la France.

Pour faire passer l'eau du tender à la chaudière, il fallait les promener à vide dans les gares, l'injecteur Giffard est venu remplacer les pompes et remédier à cet inconvénient. Le tender lui-même ne pouvait être rempli que pendant les temps d'arrêt, et voilà qu'au moyen de réservoirs placés, de distance en distance, sur la voie elle-même, l'eau de ces réservoirs pourra venir simplement, et par le seul effet du transport de la machine, remplacer l'eau vaporisée.

6. La construction des voitures, livrée jusqu'alors à la fabrication manuelle; a pris modèle sur les grands ateliers de waggons; elle s'exécute partout par procédés mécaniques, avec un grand avantage dans la précision des assemblages et d'une diminution notable dans les prix de revient.

On moule aujourd'hui une roue tout entière, comme autrefois on aurait écrasé un simple rivet.

7. Dans la grande construction des machines, les outils les plus gigantesques sont venus s'associer au mouvement déterminé par l'invention du marteau-pilon, qui reste toujours leur chef de file.

A l'autre extrémité de l'échelle, les machines à coudre se sont

construites par centaines de mille, et ont remplacé, dans bien des cas, les autres procédés de couture.

Mais entre ces deux extrêmes, combien de machines nouvelles répondant à l'heure dite à tous les besoins ! Que d'études à faire dans cette seule classe de l'Exposition !

8. L'histoire des moteurs à air chaud et celle des machines à gaz sont tout entières dans ces dix dernières années : la fumivorité des foyers de machines à vapeur, les moyens d'éviter les incrustations si dangereuses pour ces appareils et si nuisibles à la bonne utilisation du combustible, seront autant de questions résolues à partir de 1862.

9. Le matériel agricole de l'Angleterre était presque ignoré en France en 1851 ; l'apparition de la première moissonneuse américaine fut un des faits les plus marquants de la première exposition universelle. Aujourd'hui les machines à battre sont chez nous d'un emploi général ; les moissonneuses et les faucheuses gagnent chaque année du terrain ; les machines à labourer elles-mêmes, malgré les difficultés que leur fonctionnement entraîne, ont déjà leurs partisans : elles ont été sur plusieurs points de la France expérimentées sur une grande échelle

10. Le génie civil possède aujourd'hui des moyens d'action d'une rapidité et d'une puissance prodigieuses ; les ponts tubulaires, les ponts en treillis, remplacent partout les ponts suspendus ; les piles se fondent sans épuisement, et sous la sauvegarde d'une atmosphère artificielle d'air comprimé ; les puits artésiens atteignent des diamètres inaccoutumés ; les plus longues galeries se percent dans les roches les plus dures, par des procédés mécaniques entièrement nouveaux.

11. Il n'est pas jusqu'aux moyens de défense et de destruction qui n'aient subi dans la même période une véritable transformation. Le revolver du capitaine Colt partageait avec la moissonneuse tout l'intérêt de l'exposition américaine en 1851. On fait aujourd'hui tout autant de revolvers que de machines à coudre. La rayure des canons de fusil et les balles cylindro-coniques se sont transportées dans l'artillerie : la précision et la portée se sont accrues dans une mesure inespérée. Nous verrons ces fameux canons Whitworth et Armstrong, dont la supériorité nous paraît au moins contestable.

12. Inutile de mentionner, dans le domaine du génie mari-

time, les frégates blindées et les canonnières qui attirent en ce moment l'attention de tous les gouvernements : le sceptre des mers n'est plus à la flotte la plus nombreuse, mais au navire le mieux cuirassé. Ces cuirasses aujourd'hui se moulent au laminoir, comme les tôles de nos batteries de cuisine.

13. Les sciences physiques ont progressé à l'égal des sciences chimiques, et elles se sont même traduites, dans l'application, par des faits pratiques plus considérables ; la télégraphie électrique généralisée, perfectionnée au point de reproduire à la station d'arrivée l'écriture même ou le dessin qu'on lui présente au départ ; la lumière électrique régularisée, au besoin même produite, par les machines magnéto-électriques ; le chauffage au gaz introduit jusque dans les usages domestiques ; la fabrication artificielle de la glace par machines : tels sont les faits principaux des industries physiques. Dans un ordre d'idées plus scientifiques, le nouveau télescope de l'Observatoire de Paris a rendu plus vaste encore le champ des observations astronomiques.

14. La photographie est certainement, de toutes les industries nouvelles, celle qui a pris en ces dix dernières années le plus grand développement. Appliquée à tous les genres de reproductions, elle s'occupe des objets microscopiques qu'elle agrandit, ou de la réduction à petite échelle des plus grands horizons : elle a déjà beaucoup prêté à la gravure héliographique, sur métal ou sur pierre, et ses effets sont assez durables pour qu'on puisse aujourd'hui les transporter sur émail, et les rendre ainsi tout à fait inaltérables. Les déformations qu'on lui reprochait dans les grandes épreuves sont bien amoindries en obtenant commodément de petites épreuves, amplifiées ensuite par des procédés spéciaux.

15. L'horlogerie électrique est entièrement de notre époque ; et, en dehors d'elle, les progrès les plus récents ont été faits surtout dans la construction des chronographes, destinés à enregistrer les diverses circonstances d'un phénomène qui se passe en quelques milliers de seconde.

16. Nous n'aurons à citer dans la construction des instruments de musique que des perfectionnements de détail : l'analyse des phénomènes d'acoustique, par les instruments dont nous venons de parler, et par d'autres moyens encore, a cependant jeté sur la théorie musicale de nouvelles lumières, et il y aura lieu d'appré-

cier ce qu'aura produit, au dehors, l'adoption officielle et en quelque sorte obligatoire de notre nouveau diapason.

17. L'action de l'éther et du chloroforme, en déterminant une insensibilité passagère, ont apporté à l'art chirurgical une aide aussi importante qu'imprévue. Le collodion, mieux qu'aucune autre substance, a pu être utilement employé dans les petits pansements.

Les produits manufacturés ne sont pas au même degré susceptibles de se transformer : les modifications qu'ils ont subies se rapportent davantage à la forme, et ne sauraient être analysées d'une manière aussi frappante. Nous devrons donc nous borner à leur sujet à quelques indications sommaires.

18. Les industries textiles se font remarquer par le déplacement du marché de certaines matières; dans les usines, par la construction d'ateliers à rez-de-chaussée seulement, bien mieux appropriés à la grande production, qui seule peut obtenir quelques succès. Les peigneuses françaises pour la laine qui ont figuré pour la première fois à l'Exposition de 1851 et qui ont donné lieu à un procès célèbre, tout à l'honneur de l'inventeur français et de la justice britannique, ont conquis depuis lors l'industrie du coton, elle-même, et sont devenues des outils de premier ordre.

19. Les procédés rapides du rouissage obvient peu à peu à l'insalubrité des anciennes méthodes : le phormium tenax et le china grass, qui ont fait aussi leurs premières armes en 1851, donnent lieu à une consommation croissante.

20. Les nouveaux vers à soie n'ont pas encore fourni de produits industriels, mais leurs cocons se dévident enfin, et ils seront certainement utilisés. L'attention publique est surtout portée vers une meilleure utilisation de tous les déchets de soieries, qui, sous leurs formes les plus impures, méritaient cependant d'être utilisés encore pour certaines industries textiles.

21. Un nouveau moyen de produire les fils de laine par le feutrage promet de donner à la bonneterie des produits de qualité exceptionnelle, pour cette importante fabrication. Parmi les produits les plus riches de cette industrie de la laine, nous citerons la production des châles spoulinés de l'Inde, obtenus à Paris par des moyens mécaniques tout à fait neufs, avec une grande diminution de matière et de main-d'œuvre.

22. La fabrication des tapis a pris en France une grande extension : à l'exemple de ce qui se passe en Angleterre, elle est devenue plus mécanique. On pourra juger à l'Exposition de la richesse de couleur que les nouveaux procédés de teinture ont permis d'appliquer à cette fabrication importante.

23. Nos impressions ont reçu de notables perfectionnements : l'électricité est venue au secours de la gravure des rouleaux, qui se fait aujourd'hui par des moyens presque automatiques; nous imprimons simultanément plusieurs couleurs, résultant de l'application de la même matière première, avec plus d'économie, et une précision exceptionnelle; enfin la palette du teinturier s'est enrichie de tous ces nouveaux produits dérivés de l'aniline; leur éclat, nous n'oserions pas dire encore leur solidité, laisse bien loin derrière elles les bleus, les violets et les jaunes d'autrefois.

24. La fabrication mécanique des dentelles et des broderies a pris quelque importance, mais c'est toujours par le cachet particulier du goût français que ces produits se distinguent.

25. Nous voyions ces jours derniers des tissus de soie à longs poils qui imitent, dans toutes leurs qualités essentielles, les fourrures les plus recherchées.

26. C'est aussi par des imitations, jusqu'à présent peu favorisées et peu recommandables, que quelques nouveautés se sont introduites dans l'industrie des cuirs, qui ne sont vraiment bons, quoi qu'on fasse, qu'à la condition de préparations longues et soignées : le cuir verni a remplacé, dans d'incroyables proportions, pour la chaussure, les produits plus solides, mais moins élégants, qui étaient exclusivement employés à cet usage.

27. La confection des vêtements occupe maintenant de vastes ateliers mécaniques. Les draps, superposés par centaines d'un seul coup, sont découpés par la scie à ruban; les coutures se font toutes avec des machines; celles des cuirs sont remplacées par des vis, et il y a un atelier à Paris, dans lequel la fabrication est d'une rapidité telle que, mesure prise d'une paire de chaussures, elle se trouve faite de toutes pièces, avant que l'on ait achevé la visite de l'établissement.

28. Chaque jour des matières nouvelles sont proposées pour la fabrication des papiers; le chiffon manque, et le bois, convenablement divisé, paraît devoir résoudre de tous points le problème.

La chromo-typographie est devenue un art, qui lutte avec la lithographie en couleur, dans laquelle l'Angleterre et quelques établissements de l'Autriche sont si habiles. Comment douter du progrès des procédés de reproduction, lorsqu'en France seulement, la fabrication des timbres-poste, cette monnaie de création toute récente et si commode pour tous, exige un tirage annuel de plus de trois cents millions d'exemplaires : ce résultat n'eût point été réalisable sans les moyens de reproduction exacts et vraiment artistiques apportés par le moulage en gutta-percha et en galvanoplastie.

29. Tout ce qui touche à l'éducation de la jeunesse a été réuni dans une seule division, et il sera vraiment curieux de voir, par cet ensemble, comment les divers peuples cherchent à satisfaire de leur mieux aux besoins spéciaux de chaque civilisation.

30. Notre ébénisterie s'est en quelque sorte transformée dans ses moyens de production; moins exagérée dans certaines formes, plus sévère dans ses styles, elle n'aura non plus, sous le rapport du travail, exécuté presque partout par des machines, rien à redouter des meubles de l'Autriche, si bien exécutés cependant. Plusieurs essences négligées, particulièrement quelques-uns des bois de notre colonie d'Alger, se prêtent merveilleusement à toutes les fantaisies de notre industrie, essentiellement parisienne, des petits meubles de goût.

31. C'est encore par l'emploi des procédés mécaniques que les mille articles de la quincaillerie se distinguent de plus en plus de leurs similaires d'autrefois : l'emboutissage et le repoussé jouent maintenant le plus grand rôle dans cette fabrication importante.

32. La coutellerie et la taillerie n'emploient encore ni les aciers pudlés, ni les aciers Bessemer; mais les propriétés, vraiment remarquables, que communique à ce métal une petite proportion de tungstène auront sans doute été mises à profit en Allemagne. L'acier fondu est maintenant employé par voie d'estampage à la production, en grandes usines, de certains articles de coutellerie.

33. Les ouvrages en métaux précieux sont une des gloires de la France, qui est, pour ainsi dire, seule en possession de l'industrie des bronzes d'art. L'argent oxydé, l'aluminium et même la galvanoplastie entrent déjà pour une part notable dans la bijouterie, et quels que soient, depuis 1851, les efforts tentés pour nous dis-

puter à cet égard notre supériorité reconnue, nous avons tout lieu de croire que le bon goût de nos fabricants n'aura pas été moins heureux pour maintenir, par rapport aux produits étrangers, la même distance au moins qu'au premier concours.

34. Dans la verrerie les prix s'abaissent, particulièrement pour les glaces, dans la fabrication desquelles les fours à gaz, importés d'Angleterre, paraissent devoir se substituer promptement aux fours à la houille. L'étamage à l'argent paraît décidément réussir, et donner des produits aussi durables que l'étamage ordinaire au mercure.

35. En céramique enfin, et à l'exemple de Minton, c'est surtout vers la production des belles poteries d'art que notre industrie s'est dirigée. Dans notre dernière exposition des arts industriels, l'effet décoratif de ces poteries était certainement le fait capital; on nous assure que la manufacture impériale de Sèvres, en se livrant à cette fabrication, que l'on ne saurait considérer comme secondaire, a réussi à lui donner, à l'occasion de l'exposition prochaine, un nouvel éclat. Dans la décoration des porcelaines, la dorure sans brunissage, et les couvertes nacrées, dues à l'emploi des sels de bismuth, constitueront aussi des nouveautés importantes.

Cette énumération trop rapide et surtout très-imparfaite de quelques-uns des progrès accomplis durant ces dix dernières années, dans la plupart des branches de l'industrie des différents peuples, suffira, nous l'espérons, pour faire comprendre qu'en laissant de côté toutes les questions secondaires, il restera cependant beaucoup à faire, pour porter à la connaissance de nos fabricants les faits principaux, avec tous les détails nécessaires à leur complète intelligence.

Tel est le but spécial que nous nous sommes proposé d'atteindre dans une série d'études sur l'Exposition universelle de 1862.

Déjà, lors de l'Exposition universelle de 1855, nous avons, pour la première fois, consacré quelques pages à décrire la physionomie de l'Exposition industrielle de chaque peuple. Saisissant, comme nous l'avons dit, le progrès partout où il se trouve, nous ne renoncerons pas pour cela à reprendre cette même étude

dans la nouvelle exposition qui se prépare. Il est bon que nous sachions dans quelle mesure les nations les plus avancées sous le rapport intellectuel sont aussi les plus puissantes, les mieux préparées à la libre concurrence, et les mieux armées contre toute *invasion*. Cet examen, nous nous bornerons à le faire au point de vue des procédés seulement, et des qualités mêmes des produits, en laissant de côté les discussions d'économie politique, qui n'ont plus aujourd'hui leur raison d'être, en présence des faits accomplis.

Ces études techniques sur les produits de l'Exposition sont en quelque sorte dans les obligations des professeurs du Conservatoire : elles trouveront nécessairement leur place dans ce recueil, par lequel ils se sont proposés de joindre l'enseignement écrit à l'enseignement oral. Le Conservatoire impérial des arts et métiers aura aussi rendu un nouveau service, sans sortir de la direction de ses travaux habituels : l'active collaboration de M. Laboulaye, qui s'est depuis si longtemps fait connaître par ses publications technologiques, celles non moins précieuses de quelques ingénieurs qui veulent bien nous prêter leur concours en cette circonstance, nous permettent d'espérer que si nous ne cherchons pas à tout dire, nous parviendrons cependant à donner à nos appréciations individuelles, et tout à fait indépendantes les unes des autres, un véritable intérêt d'actualité.

Pour cette fois, nous ne pourrions mieux faire que de joindre à ces premiers aperçus la traduction textuelle de la brochure dans laquelle la commission anglaise a donné la description des bâtiments de l'Exposition, et de faire suivre cette notice de quelques observations sur le système de classification adopté.

H. T.

NOTICE

SUR LE

PALAIS DE L'EXPOSITION INTERNATIONALE DE 1862.

Les bâtiments construits pour l'exposition internationale de 1862, à South-Kensington, ont été combinés pour servir non-seulement à cette exposition, mais pour toutes celles qui suivront, qu'elles soient internationales, coloniales ou autres ; et l'on a pris les arrangements de droit nécessaires pour conserver les bâtiments. La Société des arts s'est assuré, d'une manière absolue, la jouissance d'une partie de ces terrains pour quatre-vingt-dix-neuf ans, et les commissaires de l'exposition de 1851 se sont engagés à réserver pendant 10 années au moins 6 hectares et demi, à la condition d'une rente de 25,000 fr. par an, ou du payement d'une somme totale de 250,000 fr. Les bâtiments subsisteront donc, si ce payement est effectué. Ces arrangements sont d'ailleurs sanctionnés par une charte royale d'incorporation.

Il n'était ni nécessaire ni convenable de laisser à la charge de l'Exposition de 1862 la totalité de la dépense de construction. Mais il sera payé assez pour rendre faciles les versements relatifs à l'achat ultérieur et à l'achèvement graduel.

Quoique les bâtiments soient parfaitement appropriés à l'exposition de 1862, on ne saurait douter que, comme œuvre d'architecture, ils ne laissent à désirer. On doit les regarder comme satisfaisant aux conditions de leur première utilisation, et comme susceptibles d'être ultérieurement achevés et décorés. Les fonds mis à la disposition des commissaires ne leur auraient permis de satisfaire à aucune dépense qui ne fût pas absolument nécessaire aux intérêts de l'exposition de 1862.

Les expositions internationales seulement, sans tenir compte des recettes qui pourront annuellement provenir d'autres sources, compléteront les sommes nécessaires pour parfaire cer-

taines parties de la décoration, et pour montrer les progrès de l'art et du goût national. Comme pour les anciennes cathédrales, l'achèvement sera l'œuvre d'un grand nombre d'années.

L'emplacement de la principale partie des bâtiments touche aux jardins d'horticulture de South-Kensington. Il est situé entre la rue du Prince-Albert à l'ouest, la rue de l'Exposition à l'est, et la rue Cromwell au sud. Le sol appartient aux commissaires de l'exposition de 1851, et a été acheté par eux avec le reliquat des fonds de cette exposition.

La possession de ce sol leur est acquise, mais chaque souscripteur, chaque exposant, et même chaque visiteur de l'exposition peut se considérer, dans une certaine mesure, comme en étant propriétaire. La Société des arts en est le propriétaire spécial, et son titre a été reconnu par les commissaires de l'exposition de 1851, qui se sont engagés à mettre à la disposition de la Société, pour 99 ans, une portion centrale, sur la façade principale de la rue Cromwell, qui est en quelque sorte l'entrée des bâtiments permanents des expositions futures.

Le caractère des constructions, contrairement à celui du palais de verre de 1851, est varié; les différents objets auxquels les bâtiments sont destinés ayant été pris en juste considération par le capitaine Fowke, qui en est à la fois l'ingénieur et l'architecte.

Les bâtiments principaux sont consacrés à quatre objets distincts :

1° Galeries de tableaux, qui exigent un établissement solide, assuré contre toutes les circonstances atmosphériques; elles doivent être parfaitement ventilées, et recevoir la lumière d'en haut;

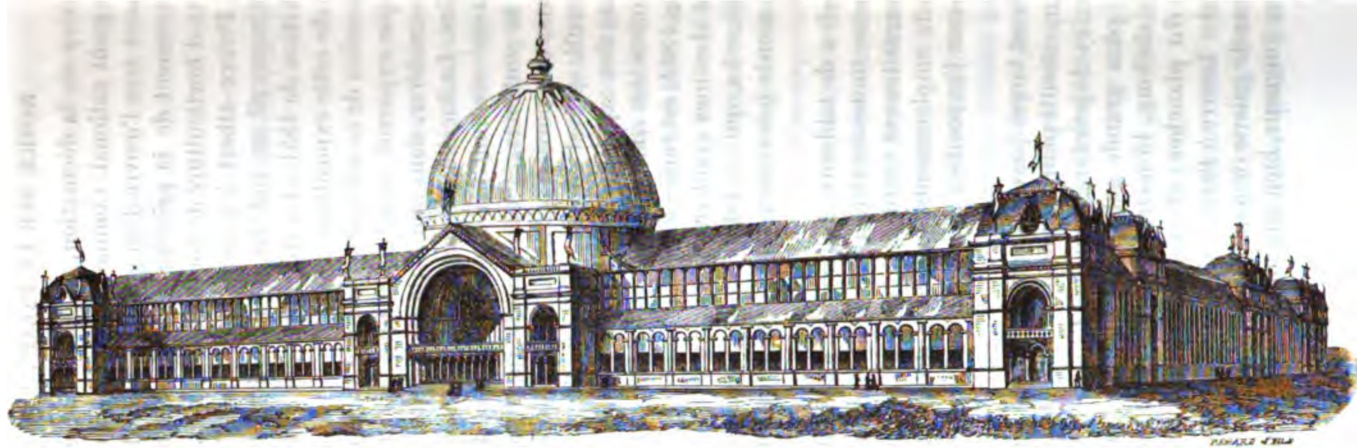
2° Grands emplacements de formes diverses, et diversement éclairés, pour l'exposition des œuvres industrielles, avec cours et galeries;

3° Salles et larges passages pour cérémonies et processions;

4° Arrangements pour les buffets.

Les galeries de peintures occupent trois des côtés d'un quadrilatère; la plus grande galerie est sur la rue Cromwell; elle a 350 mètres de long, 15 mètres de large, et 15 mètres de hauteur au-dessus du plancher : elle est ainsi presque aussi longue que la galerie du Louvre à Paris.

Cette grande galerie de peinture n'est interrompue sur aucun point de sa longueur, bien que son entrée soit au milieu; elle est



BATIMENT DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE LONDRES.

— 1862 —

solidement construite en briques; les piliers à l'entrée ont 4m,25 de haut, et 2m,12 d'épaisseur; les fondations en béton ont, sur toute la longueur, 1m,50 d'épaisseur; les murs sont recouverts de boiseries, et les tableaux peuvent être élevés, s'il est nécessaire, jusqu'à 9 mètres. L'éclairage sera établi sur les principes qui ont si bien réussi dans la galerie Sheepshanks, que l'on sait être la première qui ait été parfaitement éclairée, tant par la lumière du jour que par celle du gaz. Ces principes consistent à admettre le plus de lumière, à en régler la quantité, et à faire en sorte qu'aucune réflexion sur les surfaces vernies ne puisse gêner les spectateurs placés à la distance la plus convenable pour bien voir. Ces principes nécessaires, et la convenance d'assurer une parfaite ventilation, ont déterminé le caractère de la construction. Dès lors que la lumière doit venir d'en haut, et que les tableaux doivent être placés sur les murs, on n'y a pratiqué aucune ouverture de fenêtre.

Les peintures ont souvent été endommagées par suite de l'absence d'une ventilation convenable; les émanations de la foule sont très-nuisibles, si elles ne sont pas rapidement emportées. Dans cette galerie, la ventilation très-énergique s'effectue aux places les plus convenables. Afin de mieux utiliser l'espace, un rez-de-chaussée a été conservé au-dessous de la galerie de peinture, et l'éclairage s'en fera par des impostes. Ces conditions étant considérées comme absolument nécessaires, il sera intéressant de voir si elles conduiront à un résultat plus satisfaisant que ceux qui ont été réalisés jusqu'à présent; le temps montrera comment la décoration doit en être faite. La galerie principale recevra les grandes toiles à l'huile et les *cartons*.

L'entrée de la galerie principale de peinture sur la rue Cromwell se fera par trois belles arcades, en arrière-corps sur les pilastres. Chacune d'elles aura 6 mètres de large et 15 mètres de haut, ce qui leur donnera la même valeur que la principale façade de Saint-Jean de Latran à Rome, et des autres portiques de la renaissance en Italie. Le visiteur arrivera par un vestibule et une salle de 46 mètres de long, ayant ensemble une largeur de 34 mètres, et qui conduisent à l'exposition de l'industrie; deux escaliers de 6 mètres de long aboutissent, de chaque côté, aux galeries de peinture. La décoration de cette entrée demandera à être faite avec grand soin.

Les galeries auxiliaires de peinture sont sur la rue du Prince-Albert et celle de l'Exposition. Elles ont 7^{m},60 de large, 9 mètres de haut, et dans leur ensemble une longueur de 366 mètres ; elles sont éclairées et ventilées comme il a été dit ci-dessus pour la galerie principale. Elles recevront les petits tableaux à l'huile, les aquarelles, les dessins d'architecture et les gravures.

La décoration extérieure des galeries de peinture, par suite de l'insuffisance des fonds disponibles, sera réservée jusqu'à ce que les résultats financiers de l'exposition soient connus. La charte de l'exposition consacre 750,000 fr. pour l'achèvement de la décoration architecturale de la partie centrale. C'est seulement cette absence de fonds, à laquelle il ne serait possible de parer que par des souscriptions volontaires du public (la Chambre des communes n'ayant à intervenir en rien dans les allocations), qui empêchera la décoration des bâtiments de rivaliser avec les œuvres de Florence en mosaïques, celles de Sienne en Della Robbia, celles de Milan et de Pavie en *Terra cotta*, et celles de Wells en sculpture décorative. A moins de se refuser à l'évidence, on doit reconnaître qu'il existe en Angleterre des artistes et des manufacturiers qui seront bientôt les rivaux de ceux du moyen âge. Quelques personnes ont pensé que ces galeries de peinture pourraient être employées pour le musée national; mais nous n'avons pas à réfuter cette opinion, puisqu'elles sont exclusivement consacrées aux expositions internationales et autres expositions volontaires.

Les bâtiments de l'industrie seront construits en fer, bois et verre. Ils se composent de deux parties principales : deux dômes à douze pans qui ont 49 mètres de diamètre et 76 mètres de haut ; ils sont les plus grands de ceux des anciens temps et des temps modernes. Le dôme du Panthéon a 43 mètres de diamètre et 21 mètres de haut ; le dôme des bains de Caracalla avait une hauteur de 34 mètres ; celui de Bruneleschi à Florence, 42 de diamètre et 41 de haut ; le dôme de Saint-Pierre, 48 en diamètre et 80 en hauteur, à partir du bandeau extérieur ; le dôme de la cathédrale de Saint-Paul, 34 mètres de diamètre et 66 mètres de hauteur. Les dômes de l'Exposition seront en verre avec double galerie, à l'intérieur et à l'extérieur. On a proposé de placer au haut de l'un de ces dômes une des lentilles de M. Chance, et de l'éclairer le soir. La distance de l'un de ces

dômes à l'autre est de 326 mètres; chacun d'eux s'élève à l'intersection de la nef avec un des deux transepts.

La nef et les transepts ont une hauteur de 30m,5 et 26 mètres de largeur; la longueur de la nef est de 244 mètres; celle des transepts de 194 mètres, y compris les dômes. Ils sont éclairés des deux côtés par des croisées hautes de 6 mètres, et ils atteindraient une longueur de 1,500 mètres s'ils étaient placés bout à bout.

La toiture sera plus étanche que la construction en verre ne pourrait le permettre: et l'emploi de matériaux solides entraînera la décoration des surfaces intérieures et extérieures. Le bâtiment sera plus frais en été et plus chaud en hiver que s'il était clos avec des vitrages. La nef, qui s'étend de l'est à l'ouest, jouira aussi d'une lumière au nord, à l'abri des vents, dont tout artiste comprendra l'importance, mais que le public moins éclairé appréciera beaucoup moins.

A 7m,60 au-dessus du plancher règne une galerie de chaque côté de la nef et des transepts. Le niveau du plancher est abaissé de 1m,50 au-dessous des voies environnantes. Au moyen d'une heureuse conception, le capitaine Fowke a eu recours à cette condition pour obtenir un effet plus pittoresque à chaque extrémité. Au lieu de descendre dans le bâtiment, lorsqu'il veut y entrer, le visiteur arrive en montant deux marches sur une grande plate-forme existant sous chaque dôme. De là il peut arriver, soit dans la nef, soit dans les transepts, en descendant l'un des trois magnifiques perrons, de 25 mètres de large, qui sont par eux-mêmes d'un très-grand effet; c'est aussi par cette plate-forme qu'il arrive aux galeries supérieures.

L'entrée a donc été disposée comme une sorte d'entresol du bâtiment. Les galeries supérieures ont plus de un mile et demi de longueur, les unes de 15 mètres de large, les autres de 8 mètres seulement. Deux cours, chacune de 8 mètres sur 26; deux autres cours de 76 mètres sur 60; deux cours centrales enfin, celle du nord, de 46 mètres sur 26, l'autre de 46 mètres sur 46, complètent l'ensemble. Elles sont, à une hauteur de 15 mètres, couvertes en vitrage; ce sont les seules parties qui ressemblent au Palais de Cristal.

Les entrées des bâtiments de l'Industrie se trouvent sur les rues du Prince-Albert et de l'Exposition. Elles sont construites

en briques et pourront recevoir toute décoration. Il est désirable que l'une des tours et quelques autres parties puissent être terminées, pour servir de spécimen à ce que deviendra toute la décoration extérieure ; chaque entrée a 17 mètres de large. Il y aura d'ailleurs autant de sorties que la convenance du public pourra l'exiger.

Les buffets et arcades seront des bâtiments permanents qui présenteront de remarquables nouveautés. Ils regardent, vers le nord, l'ensemble des jardins royaux d'horticulture, avec ses cascades, fontaines, etc. Ils se maintiendront frais, bien qu'ayant vue en plein soleil. Les salles auront 90 mètres de long sur 23 mètres de large ; les deux arcades, 450 mètres et 8 mètres. Toutes sortes de comestibles, solides et liquides, y seront réunis. Le visiteur y trouvera, le matin, un déjeuner à la fourchette; comme goûter, des glaces napolitaines ou de l'*ale* de Bass, avec pain et fromages; à dîner, le roast-beef anglais et le plum-pudding, ou les dernières fantaisies de la cuisine parisienne, avec des échantillons des vins de tous les pays. Après la clôture de l'exposition, ces buffets deviendront les meilleurs restaurants de la métropole et continueront, par ce motif, à appeler un grand concours de public.

Les galeries des machines sont les seules parties qui soient d'un caractère temporaire. Elles s'étendent le long du côté ouest des jardins royaux d'horticulture, sur une longueur de 300 mètres environ et sur une largeur de 60 mètres de large, en quatre travées de 15 mètres chacune. Elles sont construites en bois suivant un système du capitaine Fowke, fort ingénieux sous le rapport de la solidité, de la légèreté et du faible prix de revient, et elles constituent un type fort bien approprié aux constructions agricoles. Le bois est assemblé par simple approche sans aucun joint.

Les travaux de terrassement ont été commencés le 9 mars : cette opération, qui exigeait beaucoup de soin, a été conduite par trois agents : par M. Marshall, pour les entrepreneurs ; et pour la commission de l'exposition, par M. Wakeford, et par le sergent du génie Harkin, envoyé, pour cet objet, par sir Henry James de Southampton. Sur un terrain de 360 mètres sur 180, on n'a trouvé, pour trois opérations distinctes, qu'une différence de trois quarts de pouce : un lit de gravier s'étend sur tout le

sol. Les fondations ont été faites à travers ce gravier, et on y a déposé une couche de béton, sur lequel des dés en pierre d'York ont été distribués, pour recevoir les colonnes de fer. Les dés des colonnes des grands dômes pèsent chacun plus d'une tonne.

Les briques viennent de Kent et ont été fournies par MM. Smeed de Sittingbourne. On en a employé plus de 10 millions; toutes les constructions en briques seront couvertes en octobre, de manière que les galeries de peinture aient parfaitement le temps de sécher.

Les fontes de fer sont exécutées aux forges de Stavely, Derbyshire, et M. Barrow, le plus important des maîtres de forge, dirige lui-même les opérations. Les fontes seront de premier choix : pour la nef et pour les transepts, 166 colonnes cylindriques de 0.30 de diamètre, avec un égal nombre de socles carrés; 312 colonnes cylindriques de 0.20 et 149 pilastres de 0.30 pour les galeries; 138 pilastres de 0.20, et 160 de 0.25 pour supporter les planchers des galeries de peinture; 62 colonnes cylindriques pour supporter les toitures des cours vitrées. Si toutes ces colonnes étaient placées bout à bout, elles s'étendraient depuis l'Exposition, à l'est jusqu'aux Docks de Londres, à l'ouest jusqu'à Kew, au nord jusqu'à Hampstead, ou enfin au sud jusqu'au Palais de Cristal de Sydenham. La construction exige en outre 1165 poutres, 3538 mètres de tuyaux, 4575 mètres de gouttières, 4000 mètres de rampes et balustrades, 1000 consoles, 700 traverses, 1400 sabots, etc.; le poids total est estimé à 4000 tonnes.

Toutes ces fontes doivent être livrées à pied d'œuvre avant le 30 septembre, date à laquelle les travaux analogues ont seulement été commencés en 1851.

Les pièces en fer forgé seront fournies par la Compagnie de la Tamise, qui a construit la frégate blindée le *Warrior*.

Le fer entrera surtout dans la construction des grands dômes, et dans celle des toitures; le poids total sera d'environ 1200 tonnes. Les assemblages, les rampes, les liens, etc., seront exécutés par les entrepreneurs. M. Ashton, qui a fait pour sir Joseph Paxton la serrurerie de deux bâtiments vitrés, est chargé de ce même soin pour le bâtiment de l'Exposition.

La charpente sera exécutée, pour partie dans les chantiers de M. Lucas à Lowestof, pour partie dans ceux de M. Kell à Grosvenor Canal. On pense employer environ 25000 mètres cubes; pour

les croisées au-dessous de la galerie de peinture, il faudra 32 châssis de 4m.88 sur 4.00, et 68 de 4m.88 sur 2m.13. Pour le vitrage supérieur des galeries, on prépare 4500 mètres carrés de châssis et de verre; pour l'éclairage latéral de la nef et des transepts, plus de 1600 mètres de châssis de 7m.50 de hauteur; et pour les cours, plus de 48000 mètres de petit bois et de verre. Toute la charpente des salles de machines se fera sur place.

Les toits seront couverts avec de l'ardoise, pour la grande galerie de peinture, et ailleurs avec du feutre, excepté sur certaines parties réservées pour des toitures ornementées.

L'entreprise de la totalité des travaux a été donnée à MM. Kelk, Charles et Thomas Lucas frères, dont la soumission s'est trouvée la plus avantageuse. Ces deux grandes maisons se sont associées pour ce travail. Chacune d'elles est connue par la puissance de ses moyens et pour avoir exécuté déjà plusieurs travaux dans des conditions qui n'avaient été réalisées par personne. M. Kelk a construit en douze mois, y compris une grève de six semaines, le pont de fer sur la Tamise, de M. J. Fowler, à Pimlico; le pont suspendu de Chelsea a occupé dernièrement plusieurs années, entre les mains moins actives du gouvernement. MM. Lucas, dans une période de sept mois seulement, ont reconstruit et décoré le théâtre de Covent-Garden ! D'après ces précédents on ne saurait douter de l'achèvement des travaux pour le 12 février, s'il ne se présente aucun accident de force majeure. L'entière responsabilité des travaux reste aux entrepreneurs; M. Meeson, du génie militaire, leur prépare les dessins d'exécution. Tous les détails sont soumis au capitaine Fowke, qui agit au nom de la commission. Il confère avec un comité de bâtiment, qui se compose du comte de Shelburne, de M. W. Fairbain et de M. W. Baker; la commission royale se réserve d'ailleurs l'approbation finale de toutes les dispositions. Le capitaine Fowke est assisté du capitaine Philpots et du lieutenant Brooke, ainsi que d'un certain nombre d'officiers, non commissionnés, du génie. M. Clemance est, pour le compte des entrepreneurs, le conducteur des travaux ; aucun architecte n'est d'ailleurs employé.

Le contrat est triple : pour l'usage et la démolition des bâtiments on payera une somme fixe de 500000 fr.; si les recettes excèdent 1 million de francs, un supplément de 250000 francs sera remis aux entrepreneurs, qui laisseront alors, comme pro-

priété de la société des arts, le centre de la grande galerie de peinture, sur une superficie de 4000 mètres carrés. Enfin les entrepreneurs se sont engagés à céder toutes les autres constructions pour 325000 fr. si le payement pouvait s'en faire, dans le cas où le grand succès que l'on espère se trouverait réalisé.

Restera-t-il un bénéfice? Cela dépend beaucoup de l'organisation de l'opération. S'il y a une perte, les souscripteurs qui ont accepté pour eux-mêmes les risques, devront y pourvoir. S'il y a un excédant de recettes, ce sera également à eux d'en déterminer l'emploi.

Mais l'attribution absolue de cette somme considérable de 200000 fr. à la création de bâtiments qui peuvent être utiles à d'autres objets que l'exposition même, donne tout lieu de penser que ces bâtiments seront conservés pour les besoins publics. Les différents intérêts semblent concourir à assurer leur conservation : la société des arts, en obtenant pour elle des bâtiments permanents, et les commissaires de 1851 en assurant leur rente de 250000 fr.

Les bâtiments resteront donc comme un monument de la bonne administration des commissaires de l'exposition de 1862; les souscripteurs auront à la fois le plaisir et l'avantage d'avoir contribué à ce résultat de leur patriotisme désintéressé. Toutes les parties trouveront certainement les moyens de conserver et de compléter les constructions qui formeront, dans l'avenir, le palais de toutes les expositions, et qui pourront devenir une sorte d'université pour les sciences et les arts, bien que fondée par une entreprise privée, et bien que reposant sur ces principes d'action volontaire qui unissent si généralement nos concitoyens.

CLASSIFICATION DES PRODUITS.

Le système de classification que l'on adopte, pour les produits si variés qui sont appelés à figurer dans une exposition universelle de l'industrie des différents peuples, n'est pas sans importance pour la bonne organisation de ces immenses concours.

Cette classification peut être tentée d'après des principes très différents les uns des autres, et le choix en est d'autant plus difficile, que chaque produit doit être apprécié sous divers points de vue, quelquefois sans relation entre eux. Tel produit agricole sera-t-il surtout considéré quant au mode de production, quant à son prix de revient, ou quant aux qualités qu'il présentera pour telle application, à laquelle il sera plus particulièrement destiné? L'examen de tel coton, par exemple, sera-t-il fait séparément par l'agriculeur, par le naturaliste ou par le fabricant de tissus, et dans le cas où cet examen multiple ne serait point réalisable, à quel avis prépondérant devra-t-il être remis? Tel appareil d'extraction devra-t-il être examiné par le mineur, ou par le mécanicien, ou bien encore par celui qui fait usage du produit extrait? Ce sont là autant de questions graves qu'une bonne classification peut seule décider, et c'est aussi pour cette raison que nous considérons la grande division en produits bruts, *instruments de travail* et produits manufacturés, comme la meilleure de toutes, et celle qui doit exercer la plus grande influence sur les progrès à réaliser.

La commission royale est restée complétement fidèle à ce principe de classification, qui avait fort bien réussi dès 1851, et qui offre ce précieux avantage de réunir les produits similaires, précisément au point de vue de leurs applications industrielles, et de la nature des connaissances générales qui doivent servir à leur appréciation.

Quoi que l'on fasse, le placement même des produits dans les galeries de l'Exposition est complétement déterminé par le sys-

tème de classement adopté, et c'est à notre avis la seule manière de rendre les études comparatives réellement fructueuses.

On a pensé, dans diverses circonstances, à rendre même ce classement obligatoire pour l'ensemble des produits exposés, et sans aucune distinction des provenances et des nationalités; mais pour réaliser cette vue générale, il faudrait que tout ce qui doit figurer à l'Exposition fût arrivé trois mois à l'avance, et si nous ne savions par expérience que rien ne se fait, en pareille matière, à l'heure dite, il nous suffirait de lire quelques-uns des journaux anglais qui s'occupent de l'Exposition pour reconnaître combien l'envoi des produits est toujours retardé.

Pour ne citer à cet égard qu'un seul fait, étranger à la France, nous remarquerons, avec le dernier bulletin de la Société des arts, que le 6 de ce mois, il n'était encore arrivé de l'Autriche qu'un seul colis.

Le grand principe d'organisation, dans ces opérations nécessairement précipitées, consiste essentiellement à répartir avec soin de grands espaces, en laissant sous la responsabilité des représentants officiels de chaque pays les détails de l'exécution.

Pour que la division naturelle fût, comme dans un musée scientifique, réalisable, il faudrait avoir fait à l'avance une statistique minutieuse, dont les éléments restent pour la plupart inconnus, même après la fermeture de l'Exposition.

La classification des produits a été l'une des premières et des principales préoccupations de l'administration chargée de préparer le travail de l'Exposition de 1855. Nous nous rappelons les nombreuses séances consacrées exclusivement à cet objet. Il est vrai qu'à cette époque on voulait faire en quelque sorte une nomenclature de tous les produits qui pourraient prendre place à l'Exposition; et, quel que soit l'intérêt qui s'attache à un pareil travail de cabinet, nous préférons, quant à nous, le seul cadre des grandes divisions, si elles sont nettement tranchées et si elles ne laissent prise à aucune incertitude.

A l'Exposition de 1855, la division générale des produits de l'industrie reposait sur des principes plus philosophiques, plus discutés, et beaucoup plus complets, mais elle était peut-être un peu compliquée; on en jugera d'ailleurs par l'énumération des titres seuls des différents groupes.

1er GROUPE. — Industries ayant pour objet principal l'extraction ou la production des matières brutes;

2e GROUPE. — Industries ayant spécialement pour objet l'emploi des forces mécaniques;

3e GROUPE. — Industries spécialement fondées sur des agents physiques et chimiques, ou se rattachant aux sciences et à l'enseignement;

4e GROUPE. — Industries se rattachant spécialement aux professions savantes;

5e GROUPE. — Manufactures des produits minéraux;

6e GROUPE. — Manufactures de tissus;

7e GROUPE. — Ameublements et décorations, modes, dessins industriels, imprimerie, musique.

Excellente, quant aux détails, qui tous ont été étudiés avec le soin le plus minutieux, cette division nous paraît plus appropriée à un ouvrage encyclopédique, qu'à la pratique même des expositions.

Dans la nouvelle Exposition, les grandes subdivisions sont moins nombreuses, et réunissent, d'une manière plus complète, les produits de même nature.

Section I. — Produits minéraux, produits chimiques, produits végétaux et animaux.

Ce sont toutes les substances dans lesquelles la forme n'entre pour rien, mais qui doivent être considérées au point de vue de leur composition et de leurs propriétés comme matière.

Section II. — Chemins de fer, machines, génie civil, marine et art militaire, instruments de physique, d'horlogerie, de musique et de chirurgie.

Elle pourrait, à meilleur droit que le 4e groupe de 1855, s'intituler la section des professions savantes. Désignée en 1851, sous le mot *Machinery*, dont nous n'avons pas l'équivalent en français, nous n'avons trouvé d'autre moyen d'en traduire l'esprit que par *Instruments de travail.*

Section III. — Tissus, cuirs, vêtements, imprimerie, enseignement, quincaillerie et coutellerie, bijouterie, verrerie et céramique.

Elle renferme d'une manière générale tous les produits fabriqués, tels qu'ils sont utilisés, pour les usages de la vie commune. Moins variée que la classification française, elle porte avec elle un caractère industriel plus marqué, et elle est d'ailleurs parfaitement conforme à celle de 1851.

La subdivision en classes a gagné en précision pour quelques-unes, et l'augmentation du nombre de ces classes a permis de donner à chacune d'elles un caractère plus tranché.

Les sous-classes sont au contraire l'objet d'une critique sévère, et cette critique serait réellement fondée, si l'on avait eu pour but de donner à chacune de ces sous-classes une importance égale. Elles nous paraissent avoir été déterminées tout à fait en dehors de cette préoccupation, et uniquement pour donner à chacune des sous-classes un caractère industriel différent. Il faut cependant reconnaître qu'en certaines parties le nombre de ces subdivisions aurait pu être augmenté, avec avantage, tandis que l'on doit s'étonner de trouver, par exemple, sept sous-classes pour les cuirs, les peaux et les poils.

Cette disproportion paraît surtout choquante, quand on la considère au point de vue du jury. La commission royale a décidé que chaque sous-classe serait examinée par un jury distinct, et il résulte de là que la France, par exemple, compte sept membres du jury pour ces produits d'importance secondaire, alors qu'elle n'est représentée que par un seul membre, soit pour l'industrie des cotons, soit pour celle des laines, soit même pour la mécanique générale tout entière.

Nous croyons que l'examen, par spécialités plus restreintes, offre l'avantage d'un jugement plus certain, qu'il évite mieux l'oubli, dans lequel pourraient rester certaines industries secondaires; mais ce n'était pas une raison; selon nous, pour réduire outre mesure le nombre des représentants des industries les plus importantes. Nous avons quelque peine à comprendre qu'il y ait quatre jurys distincts pour les vêtements, tandis qu'on n'en forme qu'un seul pour toute l'industrie minérale.

Pour faciliter l'intelligence de ces appréciations sommaires, nous avons comparé dans le tableau suivant la division actuelle avec les sous-classes, aux cadres de celles des deux expositions précédentes : la comparaison se fera pour ainsi d'elle-même à la lecture de ce document.

CLASSIFICATION de *l'Exposition universelle de* 1862.	CLASSES CORRESPONDANTES des *Expositions universelles de* 1851 *et* 1855.
	Section I.
CLASSE 1. Mines, carrières, métallurgie et produits minéraux.	1851. Classe 1. Même titre. 1855. Classe 1. Art des mines et métallurgie.
CLASSE 2. Produits chimiques et pharmaceutiques. Sous-classe *a*. Exposants de produits chimiques. Sous-classe *b*. Exposants de produits médicaux et pharmaceutiques.	1851. Classe 2. Produits chimiques et pharmaceutiques. 1855. Classe 10. Arts chimiques, teintures et impression ; industries des papiers, des peaux, du caoutchouc, etc.
CLASSE 3. Substances alimentaires. Sous-classe *a*. Exposants de produits agricoles. Sous-classe *b*. Exposants de salaisons, d'épiceries. Sous-classe *c*. Exposants de vins, d'esprits, de bierres et autres boissons, et de tabac.	1851. Classe 3. Substances alimentaires. 1855. Classe 2. Art forestier, chasse, pêche et récoltes de produits obtenus sans culture. 1851. Classe 3. Agriculture, y compris toutes les cultures de végétaux et d'animaux. 1855. Classe 11. Préparation et conservation des substances alimentaires.
CLASSE 4. Matières animales et végétales employées dans l'industrie. Sous-classe *a*. Exposants d'huiles, de graisses, de cires et de leurs dérivés. Sous-classe *b*. Exposants d'autres matières animales employées dans l'industrie. Sous-classe *c*. Exposants de matières végétales employées dans l'industrie. Sous-classe *d*. Exposants de parfumerie.	1851. Classe 4. Même titre. 1855. Classes 2 et 3, pour partie seulement.
	Section II.
CLASSE 5. Chemins de fer, y compris les locomotives et les waggons.	1851. Classe 5. Mécanique générale et voitures pour routes ordinaires. 1855. Classe 5. Mécanique spéciale et matériel des chemins de fer et des autres modes de transport.
CLASSE 6. Véhicules autres que ceux des chemins de fer.	1851 et 1855. Partie de la classe 5.

CLASSIFICATION de *L'Exposition universelle de* 1862.	CLASSES CORRESPONDANTES des *Expositions universelles de* 1851 *et* 1855.

SECTION II.

CLASSE 7. Outils et machines de fabrication. Sous-classe *a*. Exposants de machines employées dans la filature et le tissage. Sous-classe *b*. Exposants de machines et outils employés pour le travail du bois, des métaux, etc.	1851. Classe 6. Même titre. 1855. Classe. 6. Mécanique spéciale et matériel des ateliers industriels. 1855. Classe 7. Mécanique spéciale et matériel des manufactures de tissus.
CLASSE 8. Mécanique générale.	1851. Classe 5, pour partie seulement. 1855. Classe 4. Mécanique générale appliquée à l'industrie.
CLASSE 9. Machines et appareils d'agriculture et d'horticulture.	1851. Classe 9. Même titre. 1855. Classes 3 et 6.
CLASSE 10. Génie civil et appareils employés dans les constructions. Sous-classe *a*. Exposants d'appareils à l'usage du génie civil et des constructions. Sous-classe *b*. Exposants de constructions salubres et perfectionnées. Sous-classe *c*. Exposants d'architecture au point de vue spécial de la beauté de la forme.	1851. Classe 7. Génie civil, architecture et constructions. Classe 27. Produits minéraux employé dans les bâtisses et la décoration. 1855. Classe 14. Génie civil.
CLASSE 11. Génie militaire, équipement et armes de toutes sortes. Sous-classe *a*. Exposants de vêtements et d'objets d'équipement. Sous-classe *b*. Exposants de tentes et d'objets de campement. Sous-classe *c*. Exposants d'armes, d'artillerie, etc.	1851. Classe 8. Architecture navale, génie militaire et armes. 1855. Classe 13. Marine et art militaire.
CLASSE 12. Architecture maritime et matériel naval. Sous-classe *a*. Constructeurs de bâtiments de guerre et de commerce. Sous-classe *b*. Constructeurs de bateaux, de barques et d'embarcations de plaisance. Sous-classe *c*. Exposants de cordages et de matériel naval.	1851. Partie de la classe 8. 1855. Partie de la classe 13.

CLASSIFICATION de l'Exposition universelle de 1862.	CLASSES CORRESPONDANTES des Expositions universelles de 1851 et 1855.
Section II.	
CLASSE 13. Instruments de physique et procédés dépendant de leur emploi.	1851. Classe 10. Instruments de physique, de musique, d'horlogerie et de chirurgie. 1855. Classe 8. Arts de précision; industries se rattachant aux sciences et à l'enseignement. Classe 9. Industries concernant l'emploi économique de la chaleur, de la lumière et de l'électricité.
CLASSE 14. Appareils photographiques et photographies.	
CLASSE 15. Horlogerie.	
CLASSE 16. Instruments de musique.	1851. Partie de la classe 10. 1855. Classe 27. Fabrication des instruments de musique.
CLASSE 17. Instruments de chirurgie et objets y relatifs.	1855. Classe 12. Hygiène, pharmacie, médecine et chirurgie.
Section III.	
CLASSE 18. Coton.	1851. Classe 11. Même titre. 1855. Classe 19. Industrie des cotons.
CLASSE 19. Lin et chanvre.	1851. Classe 14. Même titre. 1855. Classe 22. Industrie des lins et des chanvres.
CLASSE 20. Soie et velours.	1851. Classe 13. Même titre. 1855. Classe 21. Industrie des soies.
CLASSE 21. Laines filées et tissées, y compris les tissus mélangés.	1851. Classe 12. Laines et tissus mélangés. Classe 15. Châles. 1855. Classe 20. Industrie des laines.
CLASSE 22. Tapis.	1851. Classe 19. Tapis, dentelles, broderies, etc. 1855. Classe 23. Industries de la bonneterie, des tapis, de la passementerie, de la broderie et des dentelles.
CLASSE 23. Fils et tissus présentés comme spécimens d'impression et de teinture.	1851. Classe 18. Fils et tissus teints et imprimés. 1855. Partie de la classe 10.
CLASSE 24. Tapisseries, dentelles et broderies.	1851. Partie de la classe 19. 1855. Partie de la classe 23.

CLASSIFICATION de l'*Exposition universelle de* 1862.	CLASSES CORRESPONDANTES des *Expositions universelles de* 1851 *et* 1855.

SECTION III.

CLASSE 25. Peaux, fourrures, plumes et crins. Sous-classe *a*. Exposants de pelleteries et de plumes. Sous-classe *b*. Exposants de plumes. Sous-classe *c*. Exposants de produits fabriqués en poils.	1851. Classe 16. Cuirs, sellerie, bottes et souliers; peaux, fourrures et crins. 1855. Partie de la classe 10.
CLASSE 26. Cuirs, y compris la sellerie et les harnais. Sous-classe *a*. Exposants de cuirs. Sous-classe *b*. Exposants de sellerie, de harnais, etc. Sous-classe *c*. Exposants de produits en cuir.	1851. Partie de la classe 16. 1855. Partie de la classe 10.
CLASSE 27. Vêtements. Sous-classe *a*. Exposants de chapeaux et coiffures. Sous-classe *b*. Exposants d'articles de modes. Sous-classe *c*. Exposants de bonneterie, de ganterie et de vêtements en général. Sous-classe *d*. Exposants de bottes et souliers.	1851. Classe 20. Articles de vêtements. 1855. Classe 25. Confection des articles de vêtement; fabrication des articles de mode et de fantaisie.
CLASSE 28. Papiers, papeterie, impression et reliure. Sous-classe *a*. Exposants de papiers, de cartes et de cartons. Sous-classe *b*. Exposants de fournitures de bureaux. Sous-classe *c*. Exposants d'impressions en taille-douce, en typographie et autres modes. Sous-classe *d*. Exposants de reliures.	1851. Classe 17. Papier, imprimerie et reliure. 1855. Partie de la classe 10 et de la classe 26. Dessin et plastique appliqués à l'industrie; imprimerie en caractères et en taille-douce; photographie.
CLASSE 29. Ouvrages d'éducation et objets y relatifs. Sous-classe *a*. Éditeurs. Sous-classe *b*. Fabricants d'appareils. Sous-classe *c*. Fabricants de jouets et de jeux. Sous-classe *d*. Fabricants de spécimens et de sujets d'histoire naturelle.	Cette classe est entièrement nouvelle, bien que quelques-uns des objets qui la composent puissent se rapporter à la classe 8 de 1855 : Industries se rattachant aux sciences et à l'enseignement.

CLASSIFICATION de *l'Exposition universelle de* 1862.	CLASSES CORRESPONDANTES des *Expositions universelles de* 1851 *et* 1855.
SECTION III.	
CLASSE 30. Ameublement, tapisserie, y compris les papiers de tenture et les pâtes moulées. Sous-classe *a*. Exposants d'ameublements et de tapisserie. Sous-classe *b*. Exposants de papiers de tenture et de décoration.	1851. Classe 26. Ameublement, tapisserie, papiers peints, papier mâché et laques. 1855. Classe 24. Industries concernant l'ameublement et la décoration.
CLASSE 31. Fer et quincaillerie en général. Sous-classe *a*. Exposants de produits en fer. Sous-classe *b*. Exposants de produits en cuivre et en laiton. Sous-classe *c*. Exposants de produits en étain, en plomb, en zinc, etc.	1851. Classe 22. Fer et quincaillerie en général. 1855. Classe 16. Fabrication des ouvrages en métaux, d'un travail ordinaire.
CLASSE 32. Acier, coutellerie et taillanderie. Sous-classe *a*. Exposants d'outils en acier. Sous-classe *b*. Exposants de coutellerie et de taillanderie.	1851. Classe 21. Coutellerie et taillanderie. 1855. Classe 15. Industrie des aciers bruts et ouvrés.
CLASSE 33. Ouvrages en métaux précieux et leurs imitations ; joaillerie.	1851. Classe 23. Même titre. 1857. Classe 17. Orfèvrerie, bijouterie, industrie des bronzes d'art.
CLASSE 34. Verrerie. Sous-classe *a*. Exposants de vitraux et de verres employés dans le bâtiment et la décoration. Sous-classe *b*. Exposants de verrerie de ménage et de fantaisie.	1851. Classe 24. Même titre. 1855. Classe 18. Industries de la verrerie et de la céramique.
CLASSE 35. Céramique.	1851. Même titre. 1855. Partie de la classe 18.
CLASSE 36. Objets non compris dans les classes précédentes. Sous-classe *a*. Exposants de nécessaires et d'articles de toilette. Sous-classe *b*. Exposants de malles et d'articles de voyage.	1851. Classe 29. Objets divers.
Sans analogue dans la classification actuelle.	1851. Classe 28. Objets d'origine animale ou végétale, non tissés ni feutrés.

CLASSIFICATION de *l'Exposition universelle de* 1862.	CLASSES CORRESPONDANTES des *Expositions universelles de* 1851 *et* 1855.
SECTION IV.	
CLASSE 37. Architecture. Modèles et dessins d'architecture.	1855. Classe 30. Architecture.
CLASSE 38. Peinture à l'huile, aquarelles et dessins. Sous-classe *a*. Dessins d'art pour l'industrie.	1855. Classe 28. Peinture, gravure et lithographie.
CLASSE 39. Sculpture par procédés divers. Modèles; gravures en médailles et *intaglios;* objets d'art en repoussé, ciselures, etc.	1855. Classe 29. Sculpture et gravure en médailles.
CLASSE 40. Gravure à l'eau-forte et au burin.	1855. Partie de la classe 28.

Les modifications les plus importantes résultant de l'augmentation du nombre de classes sont les suivantes :

Les voitures ont été séparées des chemins de fer, pour former une classe à part.

La marine est séparée de l'art militaire, avec lequel elle était précédemment réunie.

Les quatre titres de la classe 10, 1851, forment cette fois autant de classes distinctes, auxquelles il faut encore ajouter la photographie, qui a pris dans ces dix dernières années un si grand développement.

La classe 29, qui s'occupe de tout ce qui touche à l'enseignement, est entièrement nouvelle, et il paraîtrait qu'elle occupera une grande place à l'Exposition.

Toutes ces modifications constituent un véritable progrès.

Les autres ne consistent qu'en dédoublements : la céramique a été séparée de la verrerie, et les quatre dernières classes, consacrées aux beaux-arts, ne font que reproduire, avec de légères modifications, les trois classes qui leur étaient consacrées en 1855.

Si quelques-uns de ces dédoublements peuvent paraître exagérés alors qu'on s'est ailleurs montré beaucoup moins libéral, il

n'en est pas moins vrai que la plupart des divisions actuelles ont cependant leur raison d'être, et qu'à part quelques exceptions regrettables, elles répondent parfaitement au but que l'on s'est proposé en les formant.

Appréciés par autant de jurys distincts, les différents procédés donneront lieu à une étude sérieuse, et d'un grand intérêt pour le perfectionnement et le développement de nos industries nationales.

H. T.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LE DEUXIÈME VOLUME.

Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.

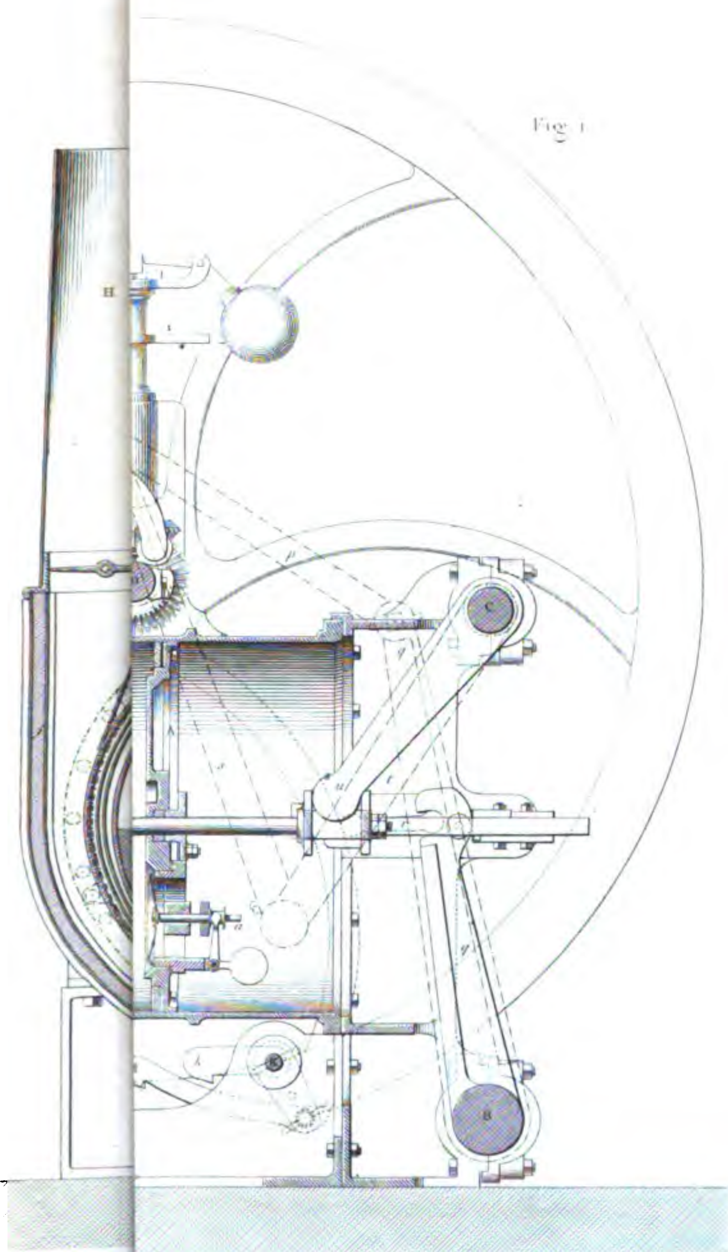

Fig. 1
H
C
B

Fig. 5.

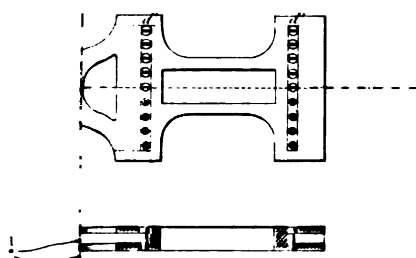
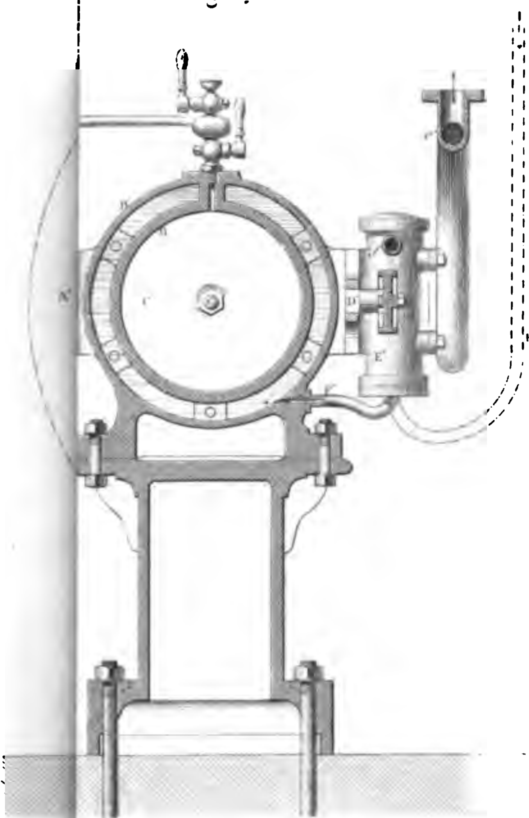


Fig. 2.

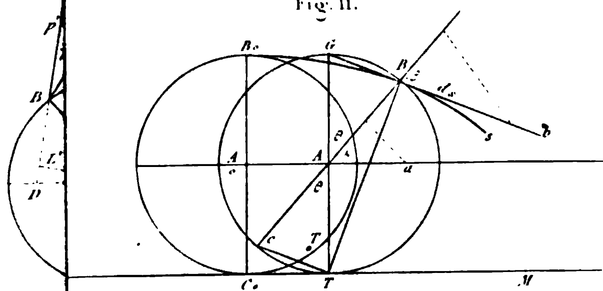


...chelle des Figures 3, 4 et 5.

Fig. 5.

g 8.

Fig. 11.



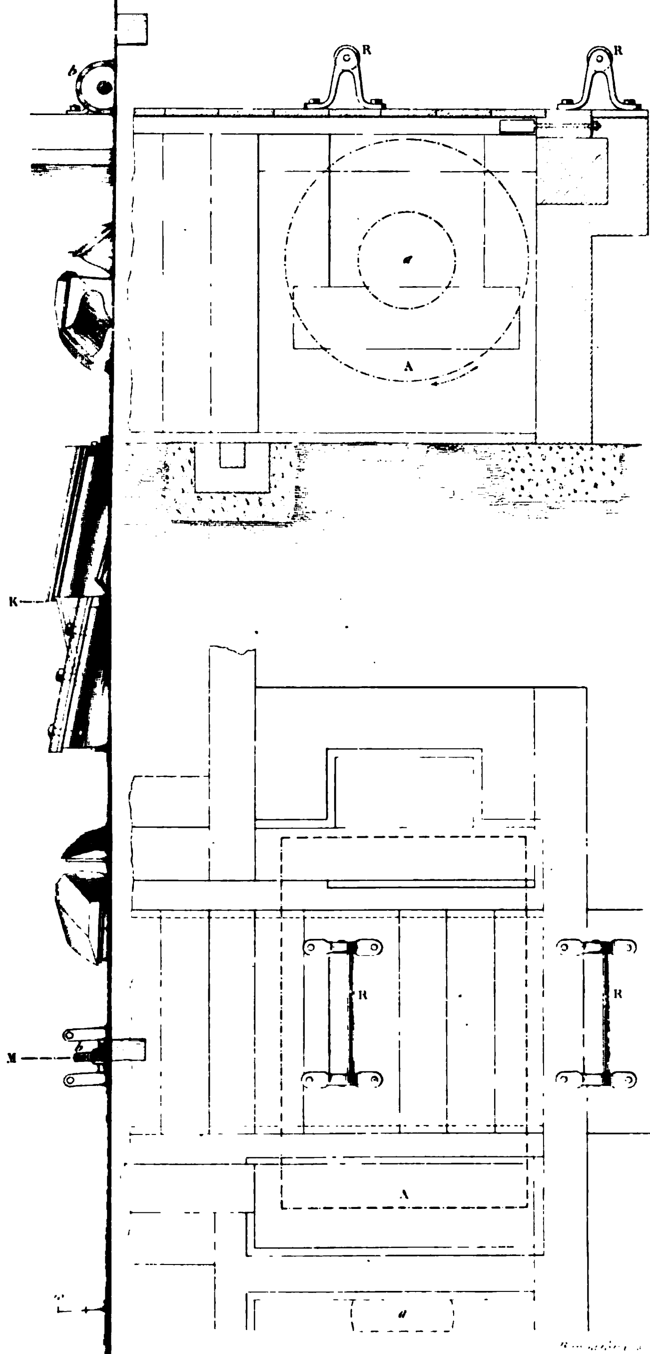

R
R
a
A
K
R
R
M
b
A
a

Fig. 2.

